



**Marta Fernandes  
Valente**

**Avaliação de ciclo de vida relativo a bens, em  
contexto de 4R's. Casos de estudo.**



**Marta Fernandes  
Valente**

**Avaliação de ciclo de vida relativo a bens em  
contexto de 4R's. Casos de estudo.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

"Algo tão pequeno como o voo de uma borboleta pode causar um tufão do outro lado do mundo."

*Teoria do Caos*, Edward Lorenz

## **o júri**

Presidente

**Prof. Doutor Luís António da Cruz Tarelho**

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos**

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro  
(Orientador)

**Prof. Doutor Paulo Jorge Trigo Ribeiro**

Professor Auxiliar Convidado da Faculdade de Engenharia da Universidade Católica Portuguesa

## **Agradecimentos**

Ao longo desta etapa da minha vida, foram vários os apoios recebidos, fulcrais para ser capaz de a concretizar.

Gostaria de agradecer aos amigos, família e todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Deixo ainda um agradecimento especial ao Prof. Arlindo Matos, meu orientador, pela sua disponibilidade e colaboração fundamentais para a concretização da presente dissertação.

A todos, o meu sincero agradecimento.

## Palavras-chave

Análise ciclo de vida, pegada de carbono, potencial de aquecimento global, *eco-design*, gestão de resíduos, bem-estar.

## Resumo

Tendo como objectivo a aplicação da Análise Ciclo de Vida no âmbito da política dos 4R's, foi aplicada uma metodologia de cálculo destinada a avaliar os impactos ambientais de diferentes alternativas tendo em vista a satisfação de necessidades de bem-estar em casos de estudo.

Para o efeito foram considerados e comparados modos de satisfação alternativos para a disponibilidade de diferentes bens: água mineral e serviço de guardanapos de mesa. No caso da água mineral foram incluídos dois cenários distintos: 0,5L em garrafa retornável (sistema de consignação) e não-retornável (sistema integrado). Foi admitido ainda um terceiro cenário para complementar o estudo, nomeadamente, que traduz o sistema autónomo (aquisição de água mineral a partir de fonte natural); No segundo caso, a satisfação de um bem-estar – guardanapos de papel descartáveis e de pano. Para as diferentes situações foi determinada a respectiva pegada de carbono.

Os resultados obtidos mostram que a pegada de carbono do sistema integrado é maior que a dos restantes sistemas. O sistema autónomo apresenta-se como o mais conveniente em termos de impacto ambiental (pegada de carbono). A pegada de carbono associada ao uso de guardanapos de pano é superior à apresentada no uso de guardanapos de papel, pelo que estes se mostram como o sistema mais favorável ao meio-ambiente.

**Keywords**

Life Cycle Analysis, carbon footprint, global warming potential, eco-design, waste management, well-being.

**Abstract**

To achieve a calculation method for environmental impacts, in order to reach the needs of well being of case studies, has been applied Life Cycle Analysis's for the 4R's policy scope.

For this purpose were considered and compared alternative ways of satisfying the availability of different goods and services: mineral water and the use of table napkins. In the first case was proposed two different scenarios: 0.5 L in returnable bottle system (assignment system) and non-returnable (integrated system). It was admitted a third stage for further study, to achieve an autonomous system (purchase mineral water from natural source); The second case was intended to the well-being satisfaction – for cloth and disposable paper napkins. It was calculated the carbon footprint for different case studies.

Overall, the results show that the largest contribution for the carbon footprint belongs to the integrated system. The autonomous system appears as the most convenient in terms of environmental impact (carbon footprint). The carbon footprint associated to cloth napkins service is superior so it was concluded that paper napkins are more favorable to the environment.

## Índice

Índice .....	i
Índice de Figuras .....	v
Índice de Tabelas .....	vii
Lista de abreviaturas .....	ix
Nomenclatura .....	xi
1 Introdução .....	1
1.1 Motivação .....	1
1.2 Âmbito e objectivos.....	2
1.3 Organização da dissertação.....	3
2 A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida.....	5
2.1 Considerações iniciais.....	5
2.2 Âmbito e objectivos da ACV .....	6
2.2.1 Unidade funcional .....	7
2.2.2 Fronteiras do sistema .....	7
2.3 Análise de inventário de ciclo de vida .....	8
2.4 Avaliação de impactes ambientais do ciclo de vida .....	8
2.4.1 Considerações iniciais .....	8
2.4.2 Classificação/Caracterização .....	9
2.4.3 Normalização.....	11
2.4.4 Avaliação .....	11
2.4.5 Interpretação de resultados .....	11
2.5 A metodologia da pegada de carbono (“carbon footprint”).....	12
2.5.1 Pegada de carbono .....	12
2.6 Modelos de cálculo e bases de dados .....	14
2.6.1 Dados de processos (RDF) .....	14
2.6.2 Dados de inventário (ICV) .....	14
2.6.3 Avaliação de impactes ambientais de ciclo de vida (LCIA) .....	15
2.6.4 Infra-estrutura .....	15
2.6.5 Procedimento de cálculo de ICV .....	15
2.6.6 Modelo ECO <sub>2</sub> R .....	16
3 Disponibilidade de água mineral .....	19
3.1 A importância da água natural.....	19
3.2 O papel das embalagens.....	20
3.3 O impacto dos resíduos de embalagem.....	21
3.4 ACV aplicada ao fluxo de embalagens.....	24



3.5	A embalagem de vidro.....	25
3.5.1	Fabrico da embalagem de vidro .....	25
3.5.2	Reciclagem de vidro (Preparação de casco) .....	26
3.6	A embalagem de <i>PET</i> .....	27
3.6.1	Produção da embalagem de PET .....	28
3.6.2	Reciclagem de PET .....	28
3.7	Modelos de gestão de embalagens – retornável e descartável .....	30
3.8	Análise de inventário ao caso de estudo.....	34
3.8.1	Objectivo .....	34
3.8.2	Âmbito.....	34
3.8.3	Definição da unidade funcional .....	34
3.8.4	Definição de modelos alternativos (cenários) .....	35
3.8.5	Fronteiras.....	36
3.8.6	Descrição geral do processo produtivo .....	36
3.8.6.1.	Cenário 1.....	36
3.8.6.2.	Cenário 2.....	37
3.8.6.3.	Cenário 3.....	38
3.8.7	Dados de processos .....	39
3.8.7.1	Dados gerais .....	39
3.8.7.2	Dados específicos directos .....	39
3.8.7.3	Esforço de transporte.....	40
3.8.8	Responsabilidade .....	41
3.8.9	Pressupostos do estudo .....	42
3.9	Processos relativos ao cenário 1 .....	43
3.9.1	Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral numa garrafa de vidro retornável (11000) .....	43
3.9.2	Produção da embalagem de vidro (11001) .....	44
3.9.3	Preparação, enchimento, empacotamento e distribuição (11002).....	45
3.9.4	Gestão de resíduos (11003).....	48
3.10	Processos relativos ao Cenário 2.....	49
3.10.1	Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral numa garrafa de PET (12000) .....	49
3.10.2	Produção das embalagens de PET (12001) .....	50
3.10.3	Enchimento, empacotamento e distribuição das garrafas de PET de água mineral (12002) .....	51
3.10.4	Gestão de resíduos (12003).....	53
3.11	Processos relativos ao cenário 3.....	55
3.11.1	Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral num garrafão de PET de 5L. .....	55

3.11.2	Produção da embalagem de PET de 5L (13001)	56
3.11.3	Transporte de ida e volta	57
3.11.4	Gestão de resíduos	58
4	Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa	61
4.1	Importância do bem/ serviço de bem-estar	61
4.2	Produção e reciclagem do papel	62
4.2.1	Papel tissue	65
4.3	Os guardanapos de pano	66
4.4	Modelos alternativos - guardanapos de papel e pano	67
4.5	Análise de inventário ao caso de estudo	69
4.5.1	Objectivo	69
4.5.2	Âmbito	69
4.5.3	Definição da unidade funcional	69
4.5.4	Definição de modelos alternativos (cenários)	69
4.5.5	Fronteiras	70
4.5.6	Descrição do processo produtivo	70
4.5.6.1	Cenário 1 – Uso de guardanapos de papel	70
4.5.6.2	Cenário 2 – Uso de guardanapos de pano	71
4.5.7	Dados de processos	72
4.5.7.1	<i>Dados gerais</i>	72
4.5.7.2	<i>Esforço de transporte</i>	72
4.5.7.3	<i>Pressupostos do estudo</i>	73
4.6	Processos relativos ao cenário 1	73
4.6.1	Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa (14000)	73
4.6.2	Produção de 1 guardanapo de papel tissue (14001)	74
4.6.3	Empacotamento e distribuição (14002)	75
4.6.4	Gestão de resíduos (14003)	76
4.7	Processos relativos ao cenário 2	77
4.7.1	Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa (15000)	77
4.7.2	Produção de guardanapos de mesa em algodão (15001)	77
4.7.3	Empacotamento e distribuição das embalagens de guardanapos (15002)	78
4.7.4	Uso e reutilização (15003)	79
4.7.5	Descarte final de 1 guardanapo de pano (15004)	80
5	Resultados e discussão	83
5.1	Caso de estudo 1 – disponibilidade de água mineral	83
5.2	Caso de estudo 2 – Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa	85
6	Conclusões e sugestões	89
6.1	Conclusões sobre os resultados obtidos	89
6.2	Limitações do trabalho	92

6.3. Sugestões para trabalho futuro .....	93
Referências bibliográficas .....	95
Anexo A – Especificações gerais dos processos Ecoinvent v2.1.....	101
Anexo B – Parâmetros considerados no caso de estudo 1 .....	111
Anexo C – Parâmetros considerados no caso de estudo 2.....	117

## Índice de Figuras

Figura 2.1 - Fases principais do ciclo de vida de um produto. Adaptado de: (Kuta et al., 1995) .....	5
Figura 2.2 - Fases de uma ACV (ISO 2005). .....	6
Figura 2.3 - Esquema representativo das fronteiras do sistema. ....	7
Figura 2.4 - Esquema representativo das fases para o cálculo da pegada de carbono. (Fonte: Adaptado de PAS 2050).....	12
Figura 2.5 – Logotipo representativo do modelo de cálculo ECO <sub>2</sub> R. ....	16
Figura 3.1 - Vendas de águas minerais naturais e de nascente (milhões de litros). Fonte: APIAM / ANIRSF .....	20
Figura 3.2 - Importância dos materiais no total de embalagens em 2009 (SPV, percentagem em peso).....	23
Figura 3.3 - Desenvolvimento sustentável de um produto. Fonte: Adaptado de (Hauschild et al., 2005) .....	24
Figura 3.4 - Diagrama representativo do processo de fabrico de embalagens de vidro. Fonte: Barbosa & Almeida.....	25
Figura 3.5 - Esquema representativo do processo de reciclagem do casco. (Fonte: VidroCiclo) ...	26
Figura 3.6 - Processos de formação de "parisons" (formas parciais de um recipiente), do sopro, máquina de moldar e o produto final (garrafas de vidro). (Fonte: <a href="http://gpi.org">http://gpi.org</a> ) .....	27
Figura 3.7 - Fórmula química do Polietileno de Tereftalato (PET).....	28
Figura 3.8 - Esquema representativo da produção de flocos de PET reciclado. (Fonte: Plastval) .	29
Figura 3.9 - Separação de embalagens de PET para posterior reciclagem. (Fonte: ERSUC) .....	29
Figura 3.10 - Unidade de moagem e lavagem do vidro. (Fonte: <a href="http://www.reciclaveis.com.br">http://www.reciclaveis.com.br</a> ) ....	30
Figura 3.11 - Vendas de embalagens de água mineral e de nascente, no ano 2008-2009. (Fonte: APIAM / ANIRSF) .....	31
Figura 3.12 - Ciclo de vida de um produto (garrafas de plástico). Adaptado de (Grimes-Casey et al., 2007).....	32
Figura 3.13 - Esquema representativo do modelo de gestão de embalagens de vidro retornáveis. ....	32
Figura 3.14 - Esquema representativo do modelo de gestão de embalagens de PET não-retornáveis.....	33
Figura 3.15 - Diagrama representativo das fases processuais associadas ao cenário 1. (Adaptado de Ferrão, 1998).....	37
Figura 3.16 - Diagrama representativo das fases processuais associadas ao cenário 2.....	38
Figura 3.17 – Diagrama representativo das fases processuais associadas ao cenário 3. ....	38
Figura 4.1 - Ciclo contínuo da produção de pasta e papel. (Fonte: <a href="http://www.paperonline">www.paperonline</a> ) .....	63

Figura 4.2 - Diagrama representativo do processo de produção de papel a partir de papel reciclado. (Fonte: <a href="http://www.recipac.pt">www.recipac.pt</a> ) .....	65
Figura 4.3 - Exemplo de uma máquina de produção de papel <i>tissue</i> . (Fonte: <a href="http://www.industry.siemens.com">www.industry.siemens.com</a> ).....	65
Figura 4.4 - Diagrama representativo dos processos envolvidos na produção de guardanapos de algodão. Adaptado de (Horrocks, 1996) .....	67
Figura 4.5 - Esquema representativo do processo relativo ao cenário 1 – uso de guardanapos de papel.....	68
Figura 4.6 - Esquema representativo do processo relativo ao cenário 2 – uso de guardanapos de pano.....	68
Figura 4.7 - Diagrama representativo do ciclo de vida relativo ao cenário 1.....	71
Figura 4.8 - Diagrama representativo do ciclo de vida relativo ao cenário 2.....	72
Figura 5.1 - Representação da pegada de carbono por fase processual relativa ao cenário 1 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável.....	83
Figura 5.2 - Representação da pegada de carbono por fase processual relativa ao cenário 2 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de PET. ....	84
Figura 5.3 - Representação da pegada de carbono por fase processual relativa ao cenário 3 – Disponibilidade para consumo de 5L de água mineral em garrafão de PET. ....	84
Figura 5.4 - Gráfico comparativo da pegada de carbono total dos 3 cenários. ....	85
Figura 5.5 - Gráficos representativos da pegada de carbono do cenário 1 e 2.....	86
Figura 5.6 - Gráfico comparativo da pegada de carbono total dos 2 cenários. ....	87

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Categorias de Impacto Ambiental mais usadas. (Fonte: EPA, 2006). .....	10
Tabela 3.1. - Objectivos de valorização de resíduos de embalagem (Directiva 2004/12/CE). .....	21
Tabela 3.2 - Tipo de embalagens consideradas na unidade funcional.....	34
Tabela 3.3 - Descrição do processo (11000). .....	43
Tabela 3.4- Descrição geral e pegada de carbono do processo (11000). .....	44
Tabela 3.5 - Descrição do processo de produção da embalagem de vidro (11001). .....	44
Tabela 3.6 - Pegada de carbono total para o processo 11001. ....	45
Tabela 3.7- Descrição do processo (11002). .....	46
Tabela 3.8 - Pegada de carbono total do processo (11002). ....	48
Tabela 3.9 - Descrição geral do processo (11003). .....	48
Tabela 3.10 - Pegada de carbono total do processo 11003. ....	49
Tabela 3.11 - Descrição geral do processo (12000). .....	50
Tabela 3.12 - Pegada de carbono total do processo 12000. ....	50
Tabela 3.13 - Descrição geral do processo (12001) .....	50
Tabela 3.14 - Pegada de carbono total do processo 12001. ....	51
Tabela 3.15 - Descrição geral do processo 12002. ....	51
Tabela 3.16 - Pegada de carbono total do processo 12002. ....	53
Tabela 3.17 - Descrição geral do processo 12003. ....	53
Tabela 3.18 - Pegada total do processo 12003. ....	54
Tabela 3.19 - Descrição geral do processo (13000) .....	55
Tabela 3.20 - Pegada de carbono do processo 13000. ....	56
Tabela 3.21 - Descrição do processo 13001. ....	56
Tabela 3.22 - Pegada de carbono do processo 13001. ....	57
Tabela 3.23 - Descrição geral do processo 13002. ....	58
Tabela 3.24 - Pegada de carbono do processo 13002. ....	58
Tabela 3.25 - Descrição geral do processo 13004. ....	59
Tabela 3.26 - Pegada de carbono total do processo 13004. ....	59
Tabela 4.1 - Dados percentuais relativos à taxa de reciclagem das fracções recolhidas selectivamente.....	64
Tabela 4.2 - Descrição geral do processo 14000. ....	73
Tabela 4.3 - Pegada de carbono total do processo 14000. ....	74
Tabela 4.4 - Descrição geral do processo 14001. ....	74
Tabela 4.5- Pegada de carbono total do processo 14001. ....	74
Tabela 4.6 - Descrição geral do processo 14002. ....	75

Tabela 4.7 - Pegada de carbono total do processo 14002. ....	75
Tabela 4.8 - Descrição geral do processo 14003. ....	76
Tabela 4.9 - Pegada de carbono total do processo 14003. ....	76
Tabela 4.10 - Descrição geral do processo 15000. ....	77
Tabela 4.11 - Pegada de carbono total do processo 15000. ....	77
Tabela 4.12 - Descrição geral do processo 15001. ....	78
Tabela 4.13 - Pegada de carbono total do processo 15001. ....	78
Tabela 4.14 - Descrição geral do processo 15002. ....	79
Tabela 4.15 - Pegada de carbono total do processo 15002. ....	79
Tabela 4.16 - Descrição geral do processo 15003. ....	80
Tabela 4.17 - Pegada de carbono total do processo 15003. ....	80
Tabela 4.18 - Descrição geral do processo 15004. ....	81
Tabela 4.19- Pegada de carbono total do processo 15004. ....	81

## Lista de abreviaturas

ACB	- Análise Custo-Benefício
ACV	- Análise Ciclo de Vida
AICV	- Análise de Inventário de Ciclo de Vida
AIVE	- Associação dos Industriais de Vidro de Embalagem
ANIRSF	- Associação Nacional dos Industriais de Refrigerantes e Sumos de Frutos
APA	- Agência Portuguesa do Ambiente
B2C	- “ <i>Business to consumer</i> ”
B&A	- Barbosa e Almeida
CFC	- Clorofluorcarbonetos
CTCV	- Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
DFE	- <i>Design for Environment</i>
ECAL	- Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos
EEA	- Environmental European Agency
EMBAR	- Associação Nacional de Recuperação e Reciclagem de Resíduos de Embalagem de Madeira
EPA	- Environmental Protection Agency (USA)
LCI	- Life Cycle Inventory
LCIA	- Life Cycle Impact Assessment
LDPE	- Low Density Polyethylene
UE	- União Europeia
GEE	- Gases com efeito de estufa
GHG	- <i>GreenHouse Gas</i>
GWP	- Global Warming Potential
HDPE	- High Density Polyethylene
ICV	- Inventário de Ciclo de Vida
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Changes
ISO	- International Standards Organization (International Organization of Standardization)
OMS	- Organização Mundial de Saúde
PC	- Pegada de Carbono
PP	- Polipropileno
PET	- Politereftalato de etileno
PERSU	- Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos
PLASTVAL	- Valorização de Resíduos Plásticos S.A.



RSU	- Resíduos sólidos urbanos
SETAC	- <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SIGERU- VALORFITO	- Sistema Integrado de Gestão de Embalagens e Resíduos em Agricultura, Lda.
SPV	- Sociedade Ponto Verde
VALORMED	- Sociedade responsável pela gestão dos resíduos de embalagens e medicamentos fora de uso.

## Nomenclatura

C	- Capacidade volumétrica de carga do veículo de transporte	$[m^3.v^{-1}]$
D	- Distância	[km]
$\rho_V$	- Densidade do vidro de embalagem	$[ton.m^{-3}]$
$\rho_{PET}$	- Densidade de resíduos de PET	$[ton.m^{-3}]$
$\rho_F$	- Densidade de fardos compactados de PET	$[ton.m^{-3}]$
$\rho_P$	- Densidade de resíduos de papel	$[ton.m^{-3}]$
E	- Potência eléctrica	[kWh]
$f_g$	- Fração de guardanapos (de pano) presente na fracção de têxteis nos resíduos sólidos urbanos	[ton g/ ton têxteis]
$f_{gp}$	- Fração de guardanapos de papel presente nos RSU	[ton g/ ton RSU]
$f_{ij}$	- Coeficiente de inventário de ciclo de vida (ICV)	[kg i / kg j]
$f_p$	- Fração de perdas	[-]
$f_t$	- Fração de têxteis nos resíduos sólidos urbanos (RSU)	[ton têxteis/tonRSU]
$g_k$	- Coeficiente tecnológico relativo ao componente processual $k$ (kg $k$ é apenas um exemplo, podendo referir-se também a kWh/ vkm/ MJ/ etc.)	[kg CO <sub>2-eq</sub> /kg $k$ ]
$g$	- Aceleração da gravidade	$[m.s^{-2}]$
$H_t$	- Altura da bomba hidráulica	[m]
$i$	- Recurso natural ou emissão $i$ do inventário de ciclo de vida	[water supply/carbon dioxide]
$j$	- Recurso natural ou tecnológico $j$ (exemplo: kWh de electricidade)	[kWh]
$k$	- Indica a unidade funcional $k$ produzida no âmbito do processo $k$ (exemplo: produção de vidro de embalagem –kg)	[kg]
M	- Capacidade mássica de carga do veículo	$[ton.v^{-1}]$
$m$	- Massa da unidade funcional	[kg]
$m_g$	- Massa de um guardanapo	[ton]

---

UF	- Unidade funcional	[1 garrafa, 1 serviço, 1 guardanapo,...]
$P_R$	- Potência da instalação de reciclagem de PET	[kW]
$P_B$	- Potência eléctrica da bomba hidráulica	[kW]
PC	- Pegada de carbono	[kg CO <sub>2-eq</sub> / UF]
$P_j$	- Pegada de carbono de cada processo Ecoinvent j	[kg CO <sub>2-eq</sub> /kg j]
$P_k$	- Pegada de carbono de cada elemento processual k	[kg CO <sub>2-eq</sub> / kg k]
Q	- Caudal de água	[m <sup>3</sup> ]
$x_{jk}$	- Coeficiente tecnológico relativo ao uso de recursos tecnológicos/naturais	[kg j/ kg UF k]
$x_{jk}$	- Coeficiente tecnológico relativo ao uso de recursos tecnológicos/naturais	[kWh/ kg UF k]
$x_{jk}$	- Coeficiente tecnológico relativo ao uso de recursos tecnológicos/naturais	[vkm/ kg UF k]
$x_{jk}$	- Coeficiente tecnológico relativo ao uso de recursos tecnológicos/naturais	[MJ/ kg UF k]
$\eta$	- Rendimento da bomba hidráulica	[-]
$\gamma$	- Peso volúmico da água	[N.m <sup>-3</sup> ]

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Com o despertar das preocupações ambientais, num cenário de alterações climáticas, é importante minimizar os impactes que causamos no quotidiano. Cada pequeno gesto tem um impacto associado, ainda que não tenhamos clara consciência desse facto. É necessário, deste modo, contribuir para que o cidadão tenha acesso a mais informação no que respeita aos produtos que utiliza diariamente, para que se torne um consumidor mais consciente.

O conhecimento da pegada ambiental causada pelos produtos é também determinado pelos avanços no denominado “*life cycle thinking*”, em que são consideradas as consequências ambientais indirectas dos produtos, actividades, sistemas e formas para avaliá-las e mitigá-las. (Heiskanen, 1999)

Neste sentido deve-se adoptar uma política integrada relativa aos produtos, procurando reduzir os impactos ambientais do ciclo de vida dos produtos, “*desde a extracção das matérias-primas até às fases de produção, distribuição, utilização e gestão dos resíduos*”. (COM, 2001)

Devem-se ainda criar incentivos aos produtos para o *ecodesign* de bens e serviços que são colocados no mercado, salientando a relevância da promoção de produtos reutilizáveis, assim como através da sensibilização dos cidadãos para o eco-consumo. (PERSU II, 2007) Torna-se, deste modo, claro, a necessidade de transformar os produtos ecológicos mais apelativos, não só em termos de custo mas também de qualidade, apresentando maior transparência relativamente às suas características ambientais. (COM, 2001)

Podemos adoptar uma abordagem do tipo “*Pensar global, agir local*”, visto que a chave está em moldar o comportamento do cidadão, apurar-lhe a consciência ambiental, para reduzir as incidências ambientais, numa perspectiva de sustentabilidade.

A gestão de resíduos sólidos deve ser feita de uma forma integrada, ou seja, através de uma selecção e aplicação de técnicas adequadas, tecnologias e programas de gestão,

que permitam atingir objectivos de gestão de resíduos específicos e metas. (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

Tendo em conta, segundo o princípio da hierarquia de operações de gestão de resíduos (DL 178/2006) “a gestão de resíduos deve assegurar que à utilização de um bem sucede uma nova utilização ou que, não sendo viável a sua reutilização, se procede à sua reciclagem ou ainda a outras formas de valorização.”

A operação de eliminação consiste em “*dar um destino final adequado aos resíduos nos termos previstos na legislação em vigor*”. (DL 178/2006) Pertencem a esta categoria as operações de incineração, deposição em aterro sanitário e tratamento biológico (ex: compostagem). Por outro lado, a operação de reciclagem consiste no “*reprocessamento de resíduos com vista à recuperação e ou regeneração das suas matérias constituintes em novos produtos*”. (DL 178/2006)

Segundo a Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos citada no PERSU II, “*pretende-se que a UE se torne numa sociedade da reciclagem, que procure evitar a geração de resíduos e que utilize os resíduos como um recurso*”, estando prevista a inclusão da Análise Ciclo de Vida (ACV) na definição de políticas e da clarificação, simplificação e racionalização da legislação europeia no que respeita aos resíduos. (COM,2005)

As operações de gestão de resíduos devem ser então hierarquizadas, prevalecendo a política dos 4R's – reciclagem, reutilização, recuperação e redução – contribuindo cada uma delas para a redução da quantidade de resíduos gerados, consumo de energia e de recursos naturais. A operação de reciclagem permite a transformação de resíduos (“*bad*”) em bens (“*good*”). A reutilização pode ser feita por cada um de nós com muitos objectos do quotidiano, como é o exemplo das embalagens reutilizáveis. No caso da redução, esta constitui a melhor forma de aproveitamento, podendo ser obtida através do projecto, manufactura e embalagem de produtos menos poluentes, com uma quantidade mínima de material, maior durabilidade e eficiência.

## 1.2 ÂMBITO E OBJECTIVOS

Este trabalho é realizado no âmbito da Avaliação de Ciclo de Vida na perspectiva “*from cradle-to-grave*”, isto é, B2C (*business to consumer*). O primeiro caso de estudo diz

respeito à análise de diferentes alternativas do sistema integrado de gestão de resíduos de embalagem (SIGRE) e do sistema de consignação aplicados ao fornecimento de água mineral ao consumidor, nomeadamente, em garrafas de PET e de vidro. O segundo caso consiste na mesma metodologia aplicada para comparar a obtenção de um serviço de bem-estar através de duas alternativas – o guardanapo de papel e o guardanapo de pano.

O objectivo principal consiste em determinar a pegada de carbono dos diferentes bens a partir de modelos alternativos, de forma a permitir identificar, quantificar e comparar a PC dos sistemas em estudo ao longo do seu ciclo de vida, com vista a encontrar oportunidades de melhoria que permitam a redução dos respectivos impactes e, eventualmente, novas alternativas mais sustentáveis e adequadas.

Já vimos acima que o ideal será proceder à valorização de resíduos, em que uma das soluções passa por reutilizar o produto usado, mantendo-o desse modo, na sociedade tecnológica, ou seja, em *stock*. No entanto, o número possível de reutilizações, na maioria dos casos, é finito, ou seja, mais cedo ou mais tarde o bem (*good*) será um resíduo (*bad*) e terá de ser descartado/eliminado. Também constitui, portanto, um objectivo estudar a influência das reutilizações de um produto na pegada de carbono associada ao mesmo.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 secções cujo conteúdo é descrito nos pontos seguintes:

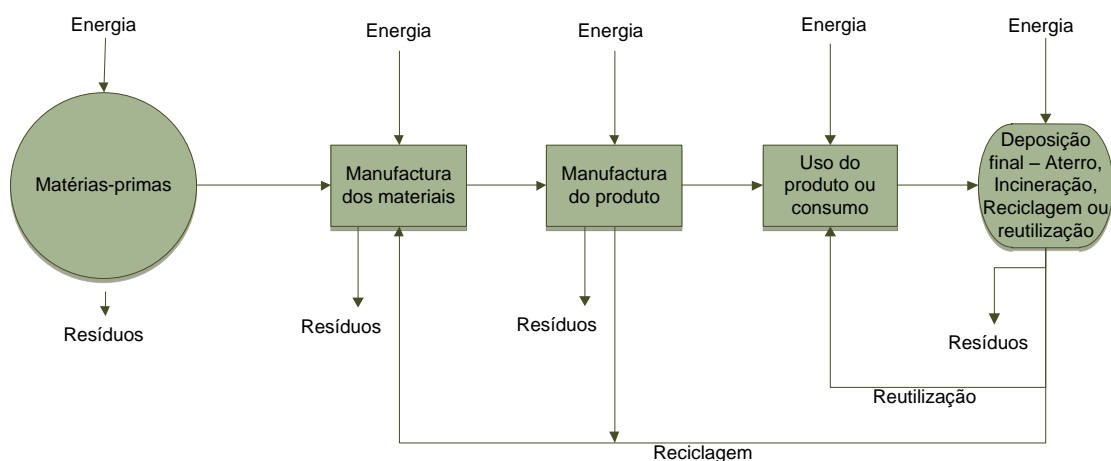
- Introdução, onde se faz um enquadramento legal e teórico ao tema em estudo, explicando-se os objectivos propostos para a realização da dissertação.
- Metodologia de base, onde são apresentados os conceitos de LCI, Pegada de Carbono e procedimentos utilizados na elaboração dos inventários relativos aos casos de estudo.
- Os dois sistemas de gestão de embalagens – sistema de consignação e sistema integrado, aplicados à satisfação de um bem – água mineral – em garrafa de vidro e PET. Aqui descreve-se como se processam actualmente e apresentam-se os resultados obtidos após a ACV realizada; comparação com o sistema autónomo (obtenção do mesmo bem a partir de fonte natural) e apresentação de resultados.

- A satisfação de um bem estar – o uso de guardanapos à mesa, a partir de dois modos alternativos: guardanapo de papel descartável e guardanapo de pano, onde se descreve o seu ciclo de vida e a respectiva pegada de carbono.
- Discussão de resultados, onde se apresentam os resultados do trabalho, acompanhados de comentários e comparações pertinentes.
- Conclusões, onde se tiram as ilações finais de todo o trabalho.

## 2 A METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

### 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é definida como o estudo dos aspectos e impactes ambientais potenciais da vida de um produto, desde a obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização e destino final. A metodologia geral da ACV encontra-se normalizada pelo grupo de normas da família ISO 14040. Na Figura 2.1, encontram-se representadas as principais fases do ciclo de vida de um produto.



**Figura 2.1 - Fases principais do ciclo de vida de um produto. Adaptado de: (Kuta et al., 1995)**

A análise ambiental de ciclo de vida (ACV) consiste num procedimento que permite avaliar os impactes associados a bens ou serviços ao longo de todo o respectivo processo produtivo. A norma portuguesa ISO 14040, “descreve os princípios e a estrutura para realizar e reportar estudos de ACV”.

A importância crescente da ACV deriva do despertar de consciência para o facto de que, geralmente, melhorias num processo induzem efeitos secundários ao longo do Ciclo de Vida, que afectam de forma positiva ou negativa o desempenho ambiental do produto ou serviço. (Ferrão, 1998)

As principais fases que constituem a ACV, de acordo com a ISO 14040, são as seguintes (Erro! A origem da referência não foi encontrada.):



1. Definição do objectivo e do âmbito da análise.
2. Inventário dos processos envolvidos, incluindo a compilação das entradas e saídas do sistema (LCI).
3. Avaliação dos impactes ambientais associados às entradas e saídas do sistema (LCIA).
4. Interpretação dos resultados das fases anteriores, tendo em conta os objectivos iniciais.



**Figura 2.2 - Fases de uma ACV (ISO 2005).**

A ACV oferece a perspectiva de conhecimento dos impactos ambientais de um sistema completo, podendo constituir uma avaliação ambiental holística. Comparar esses mesmos impactos para diferentes opções ou diferentes produtos ou sistemas de gestão, permite que melhorias ambientais sejam identificadas. (P.R. White, 1995)

## **2.2 ÂMBITO E OBJECTIVOS DA ACV**

O primeiro estágio de uma ACV define as opções/cenários que vão ser comparados e o uso pretendido dos resultados. Este uso, vai determinar o tipo de estudo conduzido e o tipo de dados necessários. (P.R. White, 1995)

### 2.2.1 UNIDADE FUNCIONAL

A definição da unidade funcional numa ACV constitui uma parte fundamental do estudo, sendo essencial para a definição de todos os parâmetros necessários às fases posteriores, nomeadamente, para a fase de inventário (LCI).

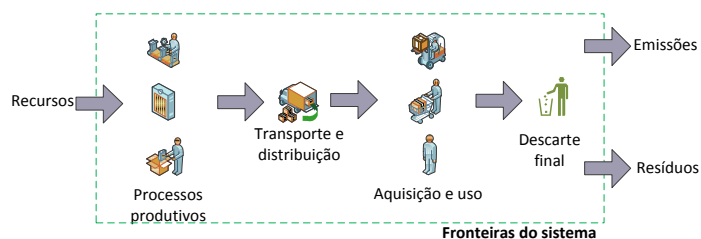
Esta pode ser definida como a unidade do produto ou serviço do qual os impactos ambientais vão ser comparados. É, geralmente, expressa em termos de quantidade de produto (por exemplo, por kg ou litro), devendo estar relacionada com a quantidade de produto necessária para fornecer uma dada função. Todos os impactos serão, deste modo, determinados por unidade funcional, sendo qualquer alteração nesta, capaz de influenciar o resultado da análise. (P.R. White, 1995)

Os resultados das ACV's devem ser comparados com base na mesma unidade funcional, e, caso um dos sistemas tenha funções que não são tidas em conta na definição da unidade funcional, estas diferenças devem ser especificadas de forma explícita. (Ferrão, 1998)

### 2.2.2 FRONTEIRAS DO SISTEMA

A fronteira do sistema (**Figura 2.3**) define os limites para o sistema do produto, como por exemplo, os estágios, entradas e saídas que devem ser incluídas na análise. (Trust *et al.*, 2008)

A fronteira que delimita os componentes que intervêm no processo produtivo está dependente dos objectivos do estudo, podendo incluir apenas a fase produtiva até à disponibilidade de um dado bem (B2B) ou podendo incluir ainda a fase de uso e disposição final (B2C).



**Figura 2.3 - Esquema representativo das fronteiras do sistema.**

## **2.3 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA**

Após a delimitação do âmbito do sistema produtivo, a análise de inventário de ciclo de vida (LCI) inclui a recolha de informação das entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) para todos os processos incluídos na fronteira do sistema. A compilação dos dados de inventário para cada processo individual quantifica as entradas e saídas associadas ao fluxo de produtos derivado da unidade funcional considerada. Os dados são tipicamente apresentados numa forma agregada para todo o sistema, como as emissões totais de uma substância X ou o uso do recurso Y por unidade funcional. (Hauschild et al., 2005)

Deve-se realizar uma análise aos resultados tendo em consideração o âmbito do estudo, o qual caracteriza a sua representatividade tanto a nível geográfico, como temporal ou tecnológico, ou seja, deve, por exemplo, deve ter-se em consideração em que contexto o produto é analisado. (Ferrão, 1998)

## **2.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA**

### **2.4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O propósito da fase de avaliação de impactes ambientais (LCIA) é interpretar os resultados do inventário segundo os seus potenciais impactos, nomeadamente, na saúde humana, no ambiente natural, nos recursos naturais e no denominado “*património construído*”. (Hauschild et al., 2005)

Esta fase da ACV pode ser dividida em 3 partes:

- Classificação/Caracterização
- Normalização
- Avaliação

Esta metodologia está orientada para categorias de impacto, como, no caso do presente estudo, o potencial de alterações climáticas (GWP), expresso em termos de emissões de dióxido de carbono, conhecida como pegada de carbono (kg CO<sub>2</sub>-eq.).

A avaliação de impactes ambientais pretende estabelecer uma ligação entre o produto e os seus potenciais impactos ambientais. (EPA, 2006)

#### 2.4.2 CLASSIFICAÇÃO/CARACTERIZAÇÃO

O propósito desta fase é organizar e combinar os resultados do LCI nas categorias de impacte (por exemplo, classificando o CO<sub>2</sub> para o aquecimento global). As categorias de impacte mais utilizadas estão descritas na **Tabela 2.1**. (EPA, 2006) Existem diferentes para proceder à classificação de impactes ambientais, como é o caso do Método Eco-indicator 95 e SETAC.

A caracterização consiste na utilização de factores de alocação, para converter e combinar os resultados do LCI em indicadores ambientais representativos. Deste modo, pode-se comparar directamente os resultados com a respectiva categoria de impacte.

Os indicadores de impactos são tipicamente caracterizados usando a seguinte equação (Epa, 2006):

$$\text{Dado de inventário} \times \text{Factor de caracterização} = \text{Indicador de impacto} \quad \text{Eq. 2.1}$$

Por exemplo, no caso dos gases com efeito de estufa estes podem ser expressos em termos de CO<sub>2</sub>-eq, multiplicando os resultados do LCI por um factor de caracterização ( $f_{ij}$ ) e combinando o resultado com os indicadores de impacto para fornecer um indicador geral do potencial de alterações climáticas (GWP) (ver Eq. 2.1).

**Tabela 2.1 - Categorias de Impacto Ambiental mais usadas. (Fonte: EPA, 2006).**

<i>Categoria de Impacto</i>	<i>Escala</i>	<i>Exemplos de dados de LCI (classificação)</i>	<i>Factor de caracterização</i>	<i>Descrição do factor de caracterização</i>
Aquecimento global	Global	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Dióxido de nitrogénio (NO <sub>2</sub> ) Metano (CH <sub>4</sub> ) Clorofluorcarbonetos (CFC's) Hidroclorofluorcarbonetos (HCFC's) Brometo de Metil (CH <sub>3</sub> Br)	Potencial de Aquecimento global	Converte os dados de LCI em CO <sub>2eq</sub> . Nota: o potencial de aquecimento global pode ser para 50, 100, ou 500 anos potenciais.
Depleção do ozono estratosférico	Global	Clorofluorcarbonetos (CFC's) Hidroclorofluorcarbonetos (HCFC's) Halons Brometo de Metila (CH <sub>3</sub> Br)	Potencial de depleção de ozono	Converte os dados de LCI em triclourofluormetano (CFC-11) equivalentes.
Acidificação	Regional Local	Óxidos sulfúricos (SO <sub>x</sub> ) Óxidos de nitrogénio (NO <sub>x</sub> ) Ácido clorídrico (HCl) Ácido fluorídrico (HF) Amónia (NH <sub>4</sub> )	Potencial de acidificação	Converte os dados de LCI em iões de hidrogénio (H <sup>+</sup> ) equivalentes.
Eutrofização	Local	Fosfato (PO <sub>4</sub> ) Óxido de nitrogénio (NO) Dióxido de nitrogénio (NO <sub>2</sub> ) Nitratos Amónia (NH <sub>4</sub> )	Potencial de eutrofização	Converte os dados de LCI em fosfato (PO <sub>4</sub> ) equivalentes.
Smog fotoquímico	Local	Hidrocarbonetos não-metano (NMHC)	Potencial de criação de oxidantes fotoquímicos	Converte dados de LCI para etano equivalentes (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ).
Toxicidade terrestre	Local	Químicos tóxicos com uma concentração letal declarada para os roedores.	LC <sub>50</sub>	Converte dados de LC <sub>50</sub> para equivalentes; usa modelação multimédia, vias de exposição.
Toxicidade aquática	Local	Químicos tóxicos com uma concentração letal declarada para os peixes.	LC <sub>50</sub>	Converte dados de LC <sub>50</sub> para equivalentes; usa modelação multimédia, vias de exposição.
Saúde humana	Global Regional Local	Emissões totais para o ar, água e solo.	LC <sub>50</sub>	Converte dados de LC <sub>50</sub> para equivalentes; usa modelação multimédia, vias de exposição.
Depleção de recursos	Global Regional Local	Quantidade de minerais usados. Quantidade de combustíveis fósseis usados.	Potencial de depleção de recursos.	Converte os dados de LCI num rácio de quantidade de recursos versus a quantidade de recursos ainda em reserva.
Uso de solo	Global Regional Local	Quantidade eliminada num aterro ou outra modificação de solo.	Disponibilidade de solo	Converte uma massa de resíduos sólidos num volume usando uma estimativa de densidade.
Uso de água	Regional Local	Água usada ou consumida	Potencial de escassez de água	Converte os dados de LCI num rácio de quantidade de água usada versus quantidade de recursos ainda em reserva.

#### 2.4.3 NORMALIZAÇÃO

Esta fase da avaliação de impacte ambiental consiste numa ferramenta usada para expressar os indicadores numa forma passível de ser comparada entre várias categorias de impacto. (EPA, 2006) A ISO 14042 define normalização como o cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores relativos à informação de referência. Esta informação de referência pode ser relativa a uma dada comunidade, pessoa ou outro sistema, num determinado período de tempo. O principal objectivo da normalização, consiste, portanto, numa melhor compreensão da importância relativa e magnitude dos resultados para cada sistema/produto no âmbito do estudo. (Guinée, 2001)

#### 2.4.4 AVALIAÇÃO

A avaliação constitui o quarto e último passo da avaliação de ciclo de vida, onde é atribuído um *ranking* ou peso às diferentes categorias de impacte ambiental e os consumos de recursos reflectem a importância relativa que têm no estudo. (Hauschild et al., 2005)

Deve ser verificada a veracidade dos resultados, de acordo com o objectivo e metas estabelecidas no início. É ainda importante sustentar os resultados, descrevendo claramente a metodologia utilizada na análise, os sistemas analisados, as fronteiras definidas e todas as aproximações ou pressupostos assumidos ao longo da análise de inventário. (EPA, 2006)

#### 2.4.5 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Esta fase da LCA é onde os resultados das fases anteriores são interpretados de acordo com o objectivo do estudo usando análise de sensibilidade e incerteza. O *output* da interpretação pode ser uma conclusão que serve como recomendação a entidades reguladoras, que vão considerar os impactos ambientais e recursos juntamente com outros critérios (como aspectos económicos e sociais). A avaliação de ciclo de vida pode ser visto como um processo iterativo, que cada fase pode ser revista várias vezes. Em cada iteração, a incerteza é reduzida e a avaliação é completada quando os resultados

são suficientemente seguros para responder adequadamente às questões que foram colocadas nas fases do objectivo e âmbito. (Hauschild et al., 2005)

## 2.5 A METODOLOGIA DA PEGADA DE CARBONO (“CARBON FOOTPRINT”)

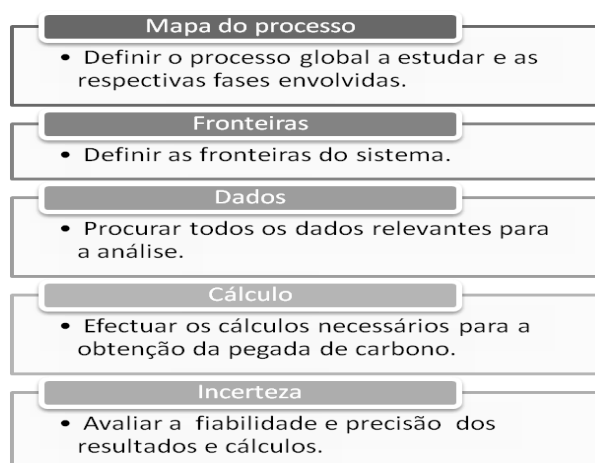
### 2.5.1 PEGADA DE CARBONO

A pegada de carbono é um indicador de impacto ambiental referente a emissões de gases com efeito de estufa (GEE), produzidas por um dado produto. “O termo «pegada de carbono de um produto» refere-se à emissão de GEE de um produto, ao longo do seu ciclo de vida, desde as matérias-primas, seguindo para a produção, distribuição, uso e descarte/reciclagem”. (PAS 2050, 2008).

Deste modo, uma organização ou particular podem conhecer a sua contribuição para as alterações climáticas de um determinado produto ou actividade.

A metodologia tem como pressuposto uma unidade de comparação de GEE, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ), este é obtido multiplicando a massa de GEE pelo respectivo potencial de aquecimento global (GWP - Global Warming Potencial).

O método de cálculo encontra-se ilustrado no guia acima referido PAS 2050, podendo ser sintetizado no esquema da **Figura 2.4**.



**Figura 2.4 - Esquema representativo das fases para o cálculo da pegada de carbono. (Fonte: Adaptado de PAS 2050).**

A fórmula utilizada para calcular a pegada de carbono é determinada a partir das seguintes equações (Matos, 2007):

$$PC \left[ \frac{kg \text{ CO}_{2eq}}{\text{unidade funcional}} \right] = \sum g_k P_k \quad \text{Eq. 2.2}$$

$$P_k \left[ \frac{kg \text{ CO}_{2eq}}{\text{unidade funcional}} \right] = \sum x_{jk} \sum f_{ij} GWP_i \quad \text{Eq. 2.3}$$

$$P_j \left[ \frac{kg \text{ CO}_{2eq}}{\text{unidade funcional}} \right] = \sum f_{ij} GWP_i \quad \text{Eq. 2.4}$$

Na Eq. 2.2,  $P_k$  é a pegada de carbono associada a cada componente processual  $k$  (exemplo:  $kg \text{ CO}_{2eq}/UF$ );  $g_k$  é o coeficiente tecnológico relativo ao componente (ou factor) processual  $k$  (exemplo  $kg \text{ vidro}/UF$ ) no processo global. Na Eq. 2.3,  $x_{jk}$  corresponde aos coeficientes tecnológicos relativos ao uso de recursos tecnológicos ou naturais  $j$  necessários ao processo  $k$  (exemplo  $kWh \text{ electricidade} / kg \text{ vidro}$ ), determinados tendo em conta as especificidades do processo global, em que  $f_{ij}$  são os coeficientes de inventário de ciclo de vida (ICV) que reportam o uso de recursos naturais e as emissões para o ar, a água e o solo da natureza  $i$  que por sua vez resultam da produção do bem tecnológico  $j$  (exemplo  $kg \text{ CO}_2 / kWh \text{ de electricidade}$ ) determinados com recurso ao inventário de ciclo de vida através da base de dados Ecoinvent;  $GWP_i$  é o potencial de efeito de estufa (aquecimento global) de determinadas emissões em relação à emissão de gases com efeito de estufa ( $kg \text{ CO}_{2eq}/kg \text{ GEE}_i$ ) (utilização de combustíveis fósseis, emissão de metano em processos tecnológicos, uso de fertilizantes químicos, etc.), definidos de acordo com o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC).

Na Eq. 2.4,  $P_j$  é a pegada de carbono associada a cada processo Ecoinvent  $j$  ( $kg \text{ CO}_{2eq}/kg \text{ j}$ ). Esta designação foi deste modo atribuída para facilitar a compreensão dos cálculos efectuados. Os resultados obtidos nesta dissertação, são expressos em termos de pegada de carbono, expressos em  $kg \text{ CO}_{2eq}$  por unidade funcional, esta definida no início de cada caso de estudo.



## 2.6 MODELOS DE CÁLCULO E BASES DE DADOS

O inventário de impacte ambiental de uma ACV só é possível de concretizar com recurso ao maior número de dados relativos aos processos em estudo. Para este efeito, recorre-se a ferramentas como bases de dados externas e *software* de análise de inventário.

A recolha de dados é, geralmente, a parte mais morosa e exaustiva de uma ACV. As bases de dados contêm dados na maioria dos processos importantes (produção, transporte, electricidade, etc.). (Hauschild et al., 2005)

Nesta dissertação, utiliza-se a base de dados *Ecoinvent v.2.1* (2009) para o inventário de ciclo de vida. Esta base de dados apresenta mais de quatro mil processos relativos à produção de bens e serviços tecnológicos, ao nível de uso de bens e recursos naturais e emissões para o ambiente (ar, solo e água), contendo dados industriais internacionais de inventário em áreas como o abastecimento de energia e materiais, extracção de recursos, químicos, metais, agricultura, serviços de gestão de resíduos e serviços de transporte. (<http://www.ecoinvent.org/>)

### 2.6.1 DADOS DE PROCESSOS (RDF)

Os dados relativos aos processos fazem referência ao uso de bens tecnológicos e recursos naturais para obter uma unidade funcional do designado bem. Esta informação é fornecida sob a forma de tabelas designadas de *raw data files* (RDF), estando disponível no próprio suporte (CD) que acompanha o contrato de licença de uso da base de dados.

### 2.6.2 DADOS DE INVENTÁRIO (ICV)

Os dados de inventário de ciclo de vida referente a um dado bem ou serviço são apresentados numa tabela (bastante mais extensa) que tem como entrada apenas o uso de recursos naturais e como saídas, para além do bem, o conjunto de emissões para o ambiente (atmosfera, água e solo).

O ICV de um dado bem depende do local que o produz já que o conjunto de bens tecnológicos e naturais mobilizados depende do país (exemplo: a produção de electricidade).

O acesso ao LCI de um dado bem (de entre os existentes na base de dados Ecoinvent) só pode ser conseguido com o auxílio das ferramentas oferecidas no próprio *site* do Ecoinvent, pois envolve a resolução de um sistema de operações, que no limite, tem a dimensão da própria base de dados.

### 2.6.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS DE CICLO DE VIDA (LCIA)

A avaliação de ciclo de vida parte do inventário de ciclo de vida e considera, conforme vimos, um dado conjunto de categorias de impacto ambiental. A base de dados Ecoinvent também apresenta o LCIA para as várias metodologias e categorias de impacto (Metodologia de Leiden, Ecoindicator 99...)

### 2.6.4 INFRA-ESTRUTURA

A base de dados referida permite incluir no *raw data file* e LCI, as infra-estruturas associadas aos processos utilizados de um bem ou serviço tecnológico (exemplo: área e materiais usados na construção de uma unidade processual).

### 2.6.5 PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DE ICV

O procedimento de cálculo utilizado é através de uma folha de cálculo tradicional, em formato Excell onde são discriminados os processos em estudo, *inputs* e *outputs*, emissões e são efectuados os cálculos necessários à obtenção da pegada de carbono final. São criadas várias páginas com a informação relativa a cada processo, desde o processo geral até aos sub-processos incluídos. A informação utilizada é obtida a partir da base de dados acima referida, nomeadamente, o nome do processo, o país de origem, o respectivo número identificativo, a unidade em que é expressa, o conteúdo e dados adicionais. Os sub-processos referem-se às operações e bens naturais ou tecnológicos necessários à concretização do processo geral, devendo estar devidamente identificados através de diferentes números, que podem corresponder ao número de

origem do processo do Ecoinvent. No caso dos processos gerais, geralmente, é criado um número novo de identificação, que não exista na base de dados. Para efeitos de cálculo do inventário, são transferidos da base de dados, dois tipos de informação – o *raw data file* e os resultados de *LCI*. O primeiro contém dados relativos aos bens tecnológicos e o segundo, o uso de recursos naturais e as emissões associadas.

Os resultados das emissões são agrupados num somatório, associado a cada bem natural ou tecnológico e, posteriormente, multiplicado por factores de alocação (no caso da sua existência) e pelo respectivo  $x_{jk}$ , obtendo-se assim um valor de pegada de carbono para cada sub-processo ( $P_k$ ). O somatório da pegada de carbono dos sub-processos origina então a pegada total do processo geral, PC, expressa em kg de CO<sub>2-eq</sub>/u.f. Este resultado implica a definição prévia da unidade funcional a considerar (exemplo.: 1 garrafa/ 1 guardanapo/...).

#### 2.6.6 MODELO ECO<sub>2</sub>R

Com o intuito de designar e exprimir todas as potencialidades e características do modelo de cálculo utilizado neste trabalho, foi criado um acrónimo – ECO<sub>2</sub>R (Figura 2.5). O sufixo “ECO” pretende traduzir os conceitos de *eco-consumo*, *eco-design* e, simultaneamente, Ecoinvent (a base de dados fundamental ao processo); a letra “C” significa «ciclo de vida» (o tipo de análise que foi efectuada); “CO<sub>2</sub>” expressa a unidade sob a qual se apresentam os resultados obtidos no cálculo da pegada de carbono – kg CO<sub>2</sub> – e, por fim, “R” representa a política dos 4R's - Reduzir, Reutilizar, Recuperar e Reciclar, no âmbito da qual este trabalho foi realizado.



Figura 2.5 – Logotipo representativo do modelo de cálculo ECO<sub>2</sub>R.

O procedimento de cálculo associado a este modelo, encontra-se descrito no ponto anterior, podendo ser aplicado a diferentes casos de estudo, no âmbito da avaliação de ciclo de vida de bens ou serviços.

A sua concretização implica a definição de vários parâmetros essenciais – distâncias associadas ao esforço de transporte; um compêndio de todos os parâmetros necessários aos cálculos (*data\_parameters*); uma tabela com todas as emissões para o ar para o cálculo do GWP; a caracterização dos processos globais em estudo e os respectivos sub-processos (processos *k*); as entradas e saídas do processo (vulgo *inputs* vs *outputs*) e respectivas quantidades discriminadas; conhecimento dos processos *j*, ou seja, os processos Ecoinvent a utilizar no cálculo da PC; definição de pressupostos a assumir, como factores de alocação e/ou de importância, assim como estimativas e aproximações.

É de salientar as características e/ou capacidades fundamentais no decorrer de todo o processo, como é o caso da persistência, aprimoramento, confiança e rigor, dado o grau de profundidade exigido nos dados e *layout* final. Este deve ser apresentado de forma perceptível e clara a qualquer leitor, ainda que leigo na matéria, e de modo a reunir a informação mais relevante e objectiva para a formação de conclusões. Todos os casos de estudo implicam a personalização da metodologia, dado que é necessário adequar os métodos, os cálculos, as estimativas e aproximações a cada caso, o que envolve “bom-senso”, caso contrário corre-se o risco de comprometer os resultados, por falta de rigor e distância da realidade.

Nos ambientes complexos e turbulentos de hoje, a necessidade de melhorias contínuas nos produtos e processos é largamente reconhecida. (Bessant *et al.*, 2001) Sublinha-se aqui a importância da aplicação do conceito *Kaizen* (filosofia de origem japonesa) que traduz o processo de melhoria contínua, o qual simboliza o carácter essencial do presente trabalho. Aqui não se espera atingir a perfeição, mas sim a melhoria progressiva do trabalho realizado.

Este modelo de cálculo é baseado no modelo utilizado anteriormente no âmbito do trabalho “*Estudo da Pegada de Carbono de Óleo Vegetal Alimentar*”, da autoria do Prof. Arlindo Matos, sublinhando-se aqui a criação do *know-how*, sem o qual o presente estudo não poderia ser concretizado.

O modelo aqui apresentado, vem de encontro aos objectivos desta dissertação, constituindo uma ferramenta de cálculo de pegada de carbono, promissora para futuros estudos enquadrados neste âmbito.

### **3 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA MINERAL**

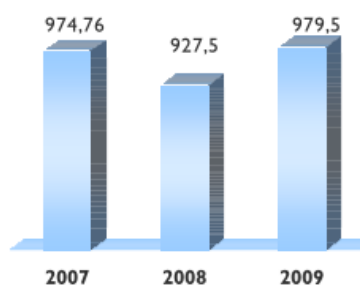
#### **3.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA NATURAL**

Entende-se por água mineral natural “a água considerada bacteriologicamente própria, com características físico-químicas estáveis, de que podem resultar efeitos favoráveis à saúde, e que se distingue da água de beber comum pela sua pureza original e pela sua natureza, caracterizada pelo teor de substâncias minerais, oligoelementos ou outros constituintes” (Decreto-Lei n.º 86/90, de 16 de Março).

A água mineral representa um bem e um recurso natural de grande importância hoje em dia, que deve ser protegido e preservado, visto ser indispensável à vida. São conhecidas as vantagens do consumo da água, a nível de saúde, bem-estar, sendo muito requisitado nas indústrias de restauração, hoteleiras, ginásios. Cabe também ao sector das bebidas, a responsabilidade de promover estilos de vida mais saudáveis, o desporto e mais informação nutricional dirigida ao consumidor. A Organização Mundial de Saúde (OMS) admite a necessidade da participação não só do próprio consumidor, mas também, do sector privado, para alcançar estas metas.

Um das razões pelas quais aumentou o consumo de água mineral engarrafada, prende-se com a má qualidade da água de abastecimento público, verificada em inúmeras regiões. Outra razão, e segundo o Boletim Informativo de Janeiro de 2010 “Águas, refrigerantes e sumos” (APIAM/ANIRSF), *“o consumidor tem vindo a aderir de uma forma consistente ao consumo de produtos mais naturais e saudáveis encontrando nas águas minerais naturais e de nascente a resposta perfeita a essa procura”*. Isto significa que, cada vez mais, o consumidor segue um estilo de vida mais saudável, o que implica mais diversidade e oferta de produtos nesta linha, o que se aplica também ao sector das águas minerais e de nascente.

Se olharmos para as vendas de Águas Minerais Naturais e de Nascente dos últimos anos, verificamos que estas aumentaram do ano 2008 para 2009, segundo as estatísticas APIAM (ver Figura 3.1).



**Figura 3.1 - Vendas de águas minerais naturais e de nascente (milhões de litros). Fonte: APIAM / ANIRSF**

A principal razão que torna atractivo este produto – água mineral engarrafada – é a sua pureza original, dado ser retirada de aquíferos subterrâneos, sem qualquer tipo de contaminação ou tratamento químico. Distinguem-se por estes motivos da água de distribuição pública, sujeita a procedimentos de desinfecção e tratamentos químicos de forma a transformá-la em água potável. O consumidor geralmente, consegue detectar vestígios desses mesmos tratamentos, nomeadamente, através de características organolépticas (sabor, odor, cor, ...), ao contrário do que sucede com a água mineral engarrafada, detentora de uma pureza elevada.

Neste âmbito, é importante desenvolver estudos que promovam a melhoria contínua deste sector, no domínio ambiental, contribuindo para esse objectivo, o presente estudo, de Análise Ciclo de Vida.

### **3.2 O PAPEL DAS EMBALAGENS**

Actualmente, o empacotamento é um elemento fundamental da maioria dos produtos alimentares e uma fonte significativa de carga e resíduos para o ambiente. Nos produtos alimentares, a embalagem é relevante, dado que isola os alimentos de factores que podem provocar a perda de qualidade como o oxigénio e microorganismos e ainda proporciona uma melhor performance durante o transporte e acondicionamento. (Roy et al., 2009)

Segundo a Directiva 94/62/CE, define-se embalagem como “todos os produtos feitos de quaisquer materiais, seja qual for a sua natureza, utilizados para conter, proteger, movimentar, entregar e apresentar mercadorias, desde as matérias-primas até aos

produtos transformados, e desde o produtor até ao utilizador ou consumidor. Todos os artigos «descartáveis» utilizados para os mesmos fins devem ser considerados embalagens.” As embalagens de bens alimentares, são principalmente constituídas de plástico, vidro, papel e cartão, aço e alumínio e madeira.

No panorama nacional, a legislação existente nesta matéria, está presente no Decreto-Lei nº366-A-97, de 20 de Dezembro, alterado pelo DL nº 162/2000 de 27 de Julho, e, posteriormente, pelo DL n.º 92/2006, de 25 de Maio, que estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

### 3.3 O IMPACTO DOS RESÍDUOS DE EMBALAGEM

As alterações nos padrões de consumo e no estilo de vida dos cidadãos, têm vindo a provocar um aumento da produção de embalagens, essencialmente, descartáveis. Diariamente, usamos e descartamos dezenas de elementos de embalagem. Por outro lado, questões como a publicidade e *marketing* apelam também ao consumo, havendo casos em que para melhorar o aspecto ou qualidade de um produto, são utilizadas mais do que uma embalagem.

Após o uso da embalagem, esta passa a ser considerada *resíduo de embalagem*. Para aumentar a vida útil das embalagens devemos apostar na prevenção, reutilização, reciclagem.

A Directiva [2004/12/CE](#) (que modifica a Directiva [94/62/CE](#)) estabelece critérios para clarificar a referida definição do termo «embalagem», estabelecendo ainda objectivos de prevenção, valorização e reciclagem de resíduos de embalagens, nomeadamente, conforme apresentado na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1. - Objectivos de valorização de resíduos de embalagem (Directiva 2004/12/CE).**

Prazo	Valorização	Reciclagem					
		Global	Vidro	Papel	Metal	Plástico	Madeira
31/12/2005	50-65%	25-45%	≥15%	≥15%	≥15%	≥15%	-
31/12/2011	≥60%	55-80%	≥60%	≥60%	≥50%	≥22,5%	≥15%



Em resposta às metas em questão, várias medidas têm sido implementadas por vários países, em particular, no que respeita aos resíduos de embalagens, como é o caso da atribuição da responsabilidade de gestão de determinados fluxos de resíduos a operadores económicos/gestão de resíduos.

*“Os fabricantes de embalagens e de matérias-primas de embalagens são responsáveis pela retoma e valorização dos resíduos de embalagens, directamente ou através de organizações que tiverem sido criadas para assegurar a retoma e valorização dos materiais recuperados”* (Despacho 3227/2010) Deste modo, os operadores económicos têm duas alternativas disponíveis para o encaminhamento das suas embalagens ou resíduos de embalagens: o sistema de consignação (aplicável às embalagens reutilizáveis e não reutilizáveis) ou Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens – SIGRE (aplicável só às embalagens não reutilizáveis).

O sistema de consignação consiste num sistema de gestão de embalagens usadas reutilizáveis, em que os embaladores e/ou os responsáveis pela colocação de embalagens deste tipo no mercado, devem adoptar este sistema para recuperar e reutilizar as suas embalagens depois de usadas pelos consumidores. Este processo envolve, necessariamente, a cobrança de um depósito, o qual apenas é devolvido no acto da devolução da embalagem. No fim do ciclo de retorno, os embaladores ou os responsáveis pela sua colocação no mercado, têm a responsabilidade pelo destino final das embalagens reutilizáveis.

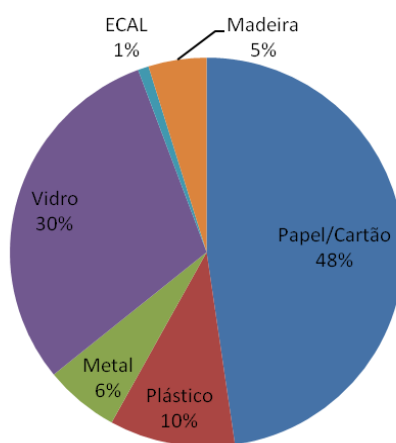
O SIGRE, por sua vez, consiste *“na articulação de responsabilidades e processos entre um conjunto de parceiros, com o objectivo de contribuir para a diminuição do volume de resíduos depositados em aterro”*. Neste caso, os intervenientes na colocação de produtos no mercado, assim como os embaladores e industriais de produção de embalagens, asseguram a gestão e o destino final das embalagens e dos resíduos de embalagem, delegando essa responsabilidade para a entidade gestora SPV. Os custos relacionados com as operações de recolha selectiva e triagem de resíduos de embalagem estão contemplados no “Eco-Valor” ou Valor Ponto Verde, associados aos produtos em questão. (Despacho 3227/2010)

Nesse âmbito, foram criadas três entidades gestoras responsáveis pelo sistema integrado de gestão de resíduos de embalagem: a Sociedade Ponto Verde (SPV), a VALORMED (Sociedade responsável pela gestão dos resíduos de embalagens e medicamentos fora de uso) e a SIGERU-VALORFITO (Sistema Integrado de Gestão de Embalagens e

Resíduos em Agricultura, Lda.). A SPV é a entidade responsável pela gestão do SIGRE, sem fins lucrativos, cujo intuito é cumprir as suas obrigações ambientais e legais, organizando e gerindo um circuito que garanta a retoma, valorização e reciclagem de resíduos de embalagens não reutilizáveis.

Durante o ano de 2009, a Sociedade Ponto Verde (SPV) assegurou a retoma de 600 mil toneladas de resíduos de embalagens, representando um aumento de mais 12% relativamente a 2008. Esta evolução acompanha a tendência de crescimento verificada desde o início de actividade da entidade gestora responsável em Portugal pelo correcto encaminhamento para reciclagem das embalagens usadas.

Em termos absolutos, em Portugal, a retoma de embalagens usadas (ver Figura 3.2) de papel/cartão foi a que mais cresceu em 2009 tendo-se cifrado no final do ano nas 286.488 toneladas, ou seja um acréscimo de 18% em relação a 2008. Mas em termos relativos o maior aumento verificou-se nas embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL) num total de 5.327 toneladas, mais 44% do que no ano anterior. Quanto aos restantes materiais, no vidro foram retomadas 181.127 toneladas (mais 8%), no plástico 62.015 (mais 16%), no metal 36.944 (- 2,4%) e na madeira 28.732 toneladas (mais 1%). (Fonte: SPV)



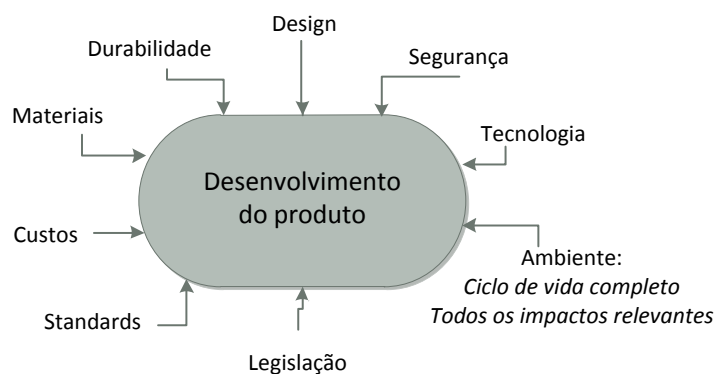
**Figura 3.2 - Importância dos materiais no total de embalagens em 2009 (SPV, percentagem em peso).**

### 3.4 ACV APLICADA AO FLUXO DE EMBALAGENS

A quantidade de resíduos municipais relativos a embalagens alimentares, segue uma tendência crescente. Por esta razão, a selecção de diferentes sistemas de empacotamento deve ser feita desde o início da produção não só a favor da conservação dos alimentos, mas também para aumentar o uso de recicláveis e retornáveis. (Humbert et al., 2009)

A competitividade sustentada das empresas industriais depende da forma como estas incorporam as considerações ambientais na concepção dos seus produtos, na óptica do seu Ciclo de Vida. (Ferrão, 1998) Para esse efeito, existem ferramentas como o *ecodesign* e o *Design for the Environment (DFE)*, no qual se incorpora a dimensão ambiental e da saúde humana, na concepção de um produto, ao longo do seu ciclo de vida. (Hauschild et al., 2005)

O conceito do *Ecodesign* aplicada aos produtos é de que estes sejam flexíveis, seguros, adaptáveis, desmaterializados e reutilizáveis (**Figura 3.3**). Provando ser razoáveis economicamente e socialmente compatíveis, estes produtos representam uma necessidade ecológica. (Hauschild et al., 2005) A aplicação deste conceito inclui várias vertentes e fases, nomeadamente, no que respeita ao processo produtivo (minimização de resíduos e consumo de energia,...), selecção de materiais (incorporar materiais recicláveis e mais duráveis, etc), utilização do produto (redução da produção de resíduos, promoção da eficiência energética,...), entre outras, resultando numa perspectiva holística das questões ambientais e económicas ao longo do Ciclo de Vida. (Ferrão, 1998)



**Figura 3.3 - Desenvolvimento sustentável de um produto. Fonte: Adaptado de (Hauschild et al., 2005)**

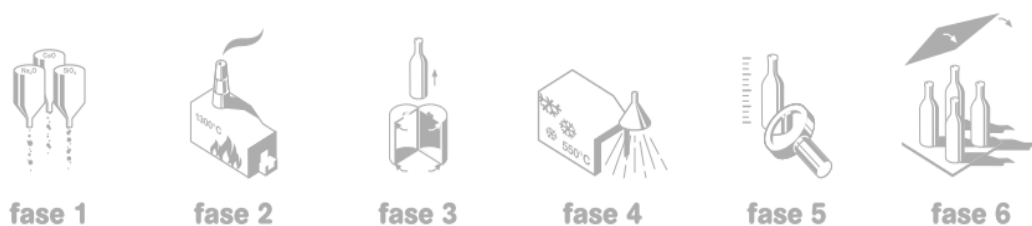
Através de processo de ICV, é possível obter uma perspectiva muito mais abrangente dos produtos. (...) O verdadeiro valor do ICV é o facto que uma parte do ciclo de vida de um produto consegue ter alguns efeitos (positivos ou negativos) noutras fases do ciclo de vida. Aplicando o “*life cycle thinking*” a um processo de *design* de um produto, inúmeras oportunidades de melhoria podem ser identificadas. (Kuta et al., 1995)

### 3.5 A EMBALAGEM DE VIDRO

O vidro é feito a partir de matérias-primas naturais, constituindo um material de empacotamento com benefícios para a saúde e ambiente. Apesar da ideia mistificada que os consumidores têm preferência por produtos em embalagens descartáveis, devido, entre outras razões, à maior facilidade de descarte, segundo um estudo norte-americano realizado (“*Newton Marketing & Research of Normam Oklahoma*”, 2006) a preferência vai antes para as embalagens de vidro. Este facto deve-se a várias razões, nomeadamente, à manutenção da pureza dos alimentos (78%), à preservação do sabor e cheiro do produto (75%) e à manutenção da integridade ou validade dos alimentos (82%). (*Glass Packaging Institute*, <http://gpi.org>)

#### 3.5.1 FABRICO DA EMBALAGEM DE VIDRO

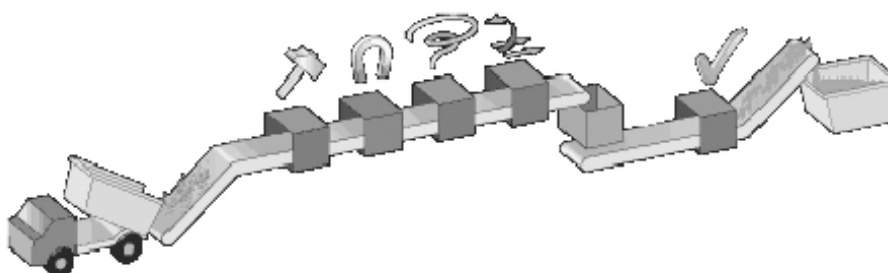
O processo de fabrico da embalagem de vidro atravessa diversas fases, nomeadamente, a recepção e armazenamento das matérias-primas, a composição do vidro (**fase 1**), fusão das matérias-primas (**fase 2**), fabricação/moldagem das embalagens de vidro (**fase 3**), recozimento e tratamentos de superfície (**fase 4**), inspecção e controlo de qualidade (**fase 5**), embalagem (**fase 6**) e expedição. (<http://www.bavidros.pt/>). Este processo encontra-se esquematizado na **Figura 3.4**.



**Figura 3.4 - Diagrama representativo do processo de fabrico de embalagens de vidro. Fonte: Barbosa & Almeida.**

No que respeita às matérias-primas naturais usadas são, essencialmente, areia ( $\text{SiO}_2$ ), calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e dolomite ( $\text{MgO}$ ), feldspato, casco processado (cerca de 40-60%) e pequenas quantidades de cromite, óxido de ferro, sulfato, óxido de cobalto, selênio, carvão consoante as características do vidro a ser fabricado e que constituem agentes de refinação e coloração. (AIVE, CTCV)

O vidro é indefinidamente reciclável, geralmente, sem perda de qualidade ou pureza, constituindo, por isso, um ciclo fechado, sem criar resíduos adicionais ou sub-produtos.



**Figura 3.5 - Esquema representativo do processo de reciclagem do casco. (Fonte: VidroCiclo)**

### 3.5.2 RECICLAGEM DE VIDRO (PREPARAÇÃO DE CASCO)

O primeiro estágio da reciclagem do vidro (ver Figura 3.5) consiste numa triagem manual para remover os contaminantes mais grosseiros, seguida de uma selecção granulométrica (separação por dimensão), triagem automática/mecânica para remoção de contaminantes ferrosos, aspiração para remoção de materiais de baixa densidade (rolhas de cortiça, rótulos de papel), separação magnética não-ferrosa, detecção óptica (remoção de contaminantes não-transparentes) e por fim o controlo de qualidade. (VidroCiclo, 2010) A forma final do casco processado é atingida por extracção magnética, a última através de uma combinação de esmagamento, blindagem e técnicas de separação por densidade. O casco processado está então pronto para misturar com matérias-primas virgens, e, posteriormente, para a fusão no forno e para o sopro ou moldagem dos produtos de vidro finais (**Figura 3.6**). (P.R. White, 1995)

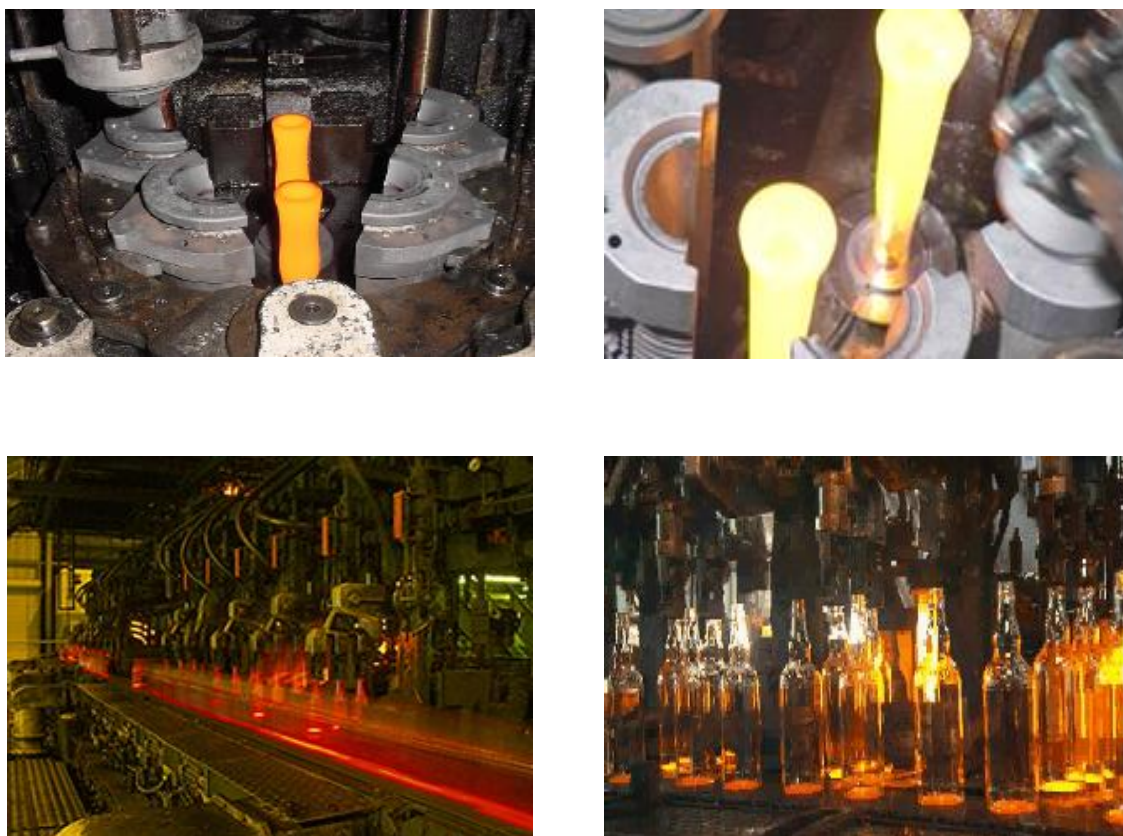


Figura 3.6 - Processos de formação de "*parisons*" (formas parciais de um recipiente), do sopro, máquina de moldar e o produto final (garrafas de vidro). (Fonte: <http://gpi.org>)

### 3.6 A EMBALAGEM DE *PET*

O Politereftalato de etileno (PET) foi desenvolvido em 1940 para ser usado na produção de fibras sintéticas. As suas áreas de aplicação foram-se expandindo depois de 1960, sendo aplicado no sector das embalagens. O PET existe sob duas formas distintas: a forma amorfa e forma parcialmente cristalina (onde pode ser usado para a moldagem de garrafas por exemplo). (*Life Cycle Inventories for Packagings - Volume I*, 1998)

O PET é um polímero de condensação, sendo a sua fórmula química apresentada da seguinte forma:

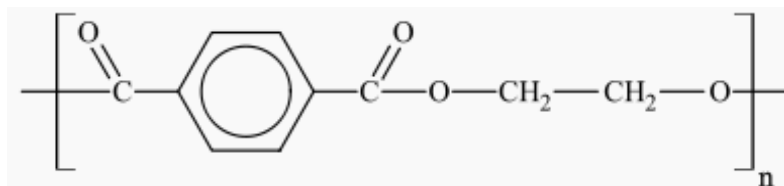


Figura 3.7 - Fórmula química do Polietileno de Tereftalato (PET).

### 3.6.1 PRODUÇÃO DA EMBALAGEM DE PET

As garrafas de PET para bebidas podem ser produzidas através do método de moldagem por sopro de injeção (*"injection stretch blow molding"*), incluindo as fases de secagem dos flocos ou grânulos, fusão, injeção..., aplicação da "manga", empacotamento, armazenamento e transporte interno. (*Life Cycle Inventories for Packagings - Volume II*, 1998)

Este polímero é um popular material de embalagem para alimentos e outros produtos, devido às suas propriedades de força, termo-estabilidade e transparência. Os consumidores optam por estas embalagens devido à sua economia, leveza, flexibilidade e reciclabilidade. De facto, o PET reciclado pode ser usado para produzir produtos variados como fibra para produção de têxteis (poliéster), calçado desportivo, tapetes, e novas embalagens. (Fonte: <http://www.napcor.com/>)

### 3.6.2 RECICLAGEM DE PET

Com recentes avanços na tecnologia de reciclagem do PET, é agora possível 'fechar o ciclo' (*"close the loop"*), reciclando garrafas e recipientes em novas garrafas e recipientes. Isto tem aumentado a procura por PET reciclado e a facilidade de produção de embalagens de PET a partir de 100% de PET pós-consumido e reciclado. (Hurd, 2001)

As embalagens de PET, após uma fase de recolha selectiva e triagem (ver **Figura 3.9**), são previamente separadas por cor e tipo. O processo de reciclagem passa por separar os fardos e transferi-los para uma tela transportadora, uma pré-lavagem com remoção dos rótulos; uma triagem manual; trituração em flocos; processos de lavagem e separação e secagem dos flocos, como representado na **Figura 3.8**. (*Life Cycle Inventories for Packagings - Volume I*, 1998)

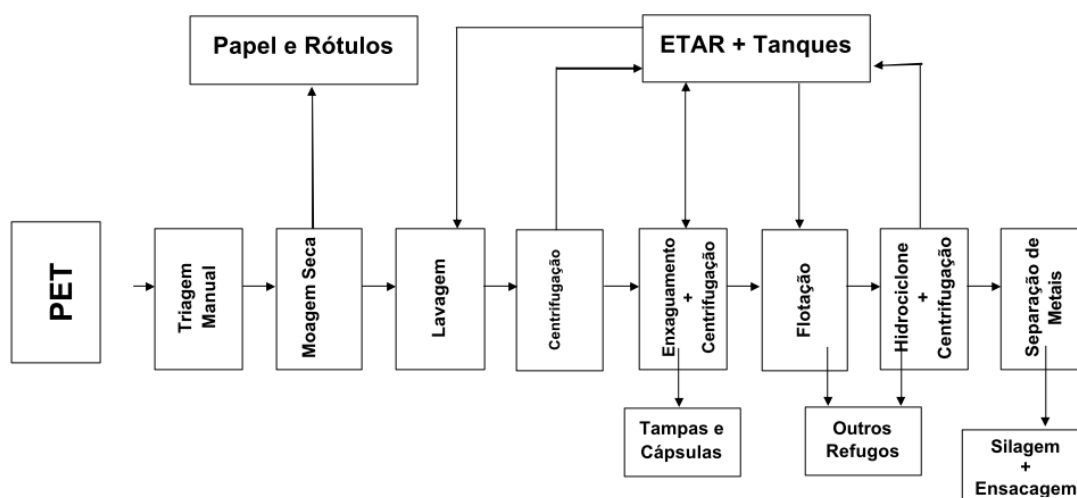


Figura 3.8 - Esquema representativo da produção de flocos de PET reciclado. (Fonte: Plastval)

Após a secagem dos flocos, estes são introduzidos num separador electrostático, para separar os flocos de qualquer alumínio presente. Temos então no final destes passos, o denominado “*clean flake*” (flocos limpos), que será posteriormente transformado numa matéria-prima como fibra ou “bolo”, que finalmente é manufacturado em novos produtos. (WSDC, 2001)

O PET possui determinadas características que o tornam mais desejável aos olhos do consumidor: flexibilidade de design, baixo custo, transparência e impermeabilidade.



Figura 3.9 - Separação de embalagens de PET para posterior reciclagem. (Fonte: ERSUC)



### 3.7 MODELOS DE GESTÃO DE EMBALAGENS – RETORNÁVEL E DESCARTÁVEL

Actualmente, os produtores de produtos alimentares, nomeadamente, garrafas de bebidas, apostam cada vez mais em embalagens de plástico (PET) ou *Tetrapak* e menos em garrafas de vidro, em particular, retornáveis. Esta situação ocorre por vários motivos, um deles prende-se com o facto das embalagens descartáveis usarem menos matéria-prima do que as concorrentes, pelo que, são muito mais leves. As garrafas retornáveis apresentam ainda a desvantagem de precisarem de ser submetidas a um novo processo de lavagem antes de serem reutilizados. (**Figura 3.10**).



**Figura 3.10 - Unidade de moagem e lavagem do vidro. (Fonte: <http://www.reciclaveis.com.br>)**

Por outro lado, os transportadores também são beneficiados no modelo de gestão não-retornável, pois os produtos acondicionados em embalagens descartáveis só precisam de ser levados ao seu destino, sem retornarem.

Temos de considerar ainda o papel importante do consumidor final nesta decisão, já que, hoje em dia, o cidadão procura facilidade, rejeitando o esforço necessário para a troca dos recipientes no supermercado, ainda que estejam conscientes das vantagens de conservação da bebida das garrafas de vidro, optando, por isso, maioritariamente, por embalagens descartáveis de cartão ou plástico.

No entanto, a produção de bebidas em garrafas de vidro também possui um impacto considerável na natureza, não podendo ignorar os recursos necessários para a lavagem das garrafas (energia proveniente de combustíveis fósseis para aquecer a água e respectivas emissões para a atmosfera, o uso de soda cáustica para a higienização e

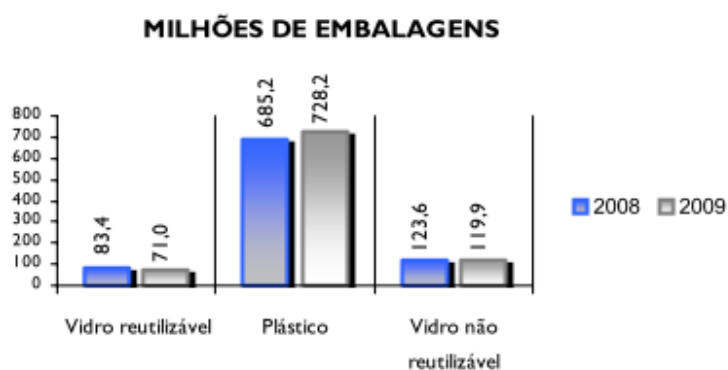
remoção de contaminantes e ainda os efluentes líquidos produzidos que precisam de ser submetidos a um processo de tratamento de efluentes).

A escolha entre garrafas retornáveis ou descartáveis não constitui, portanto, uma escolha imediata, sendo necessário considerar inúmeros factores, como o custo associado a cada modelo de gestão, respectivamente. No que respeita às garrafas retornáveis, estas podem apresentar um custo efectivo maior a longo prazo, sendo que os engarrafadores apenas possuem incentivo para usar garrafas retornáveis quando têm a certeza que as taxas de consumo vão ser significativamente altas. (Grimes-Casey et al., 2007)

Sistemas de reembolso para encorajar o retorno das embalagens foram legislados em vários países como o Canadá, Austrália, países nórdicos e da Europa Ocidental. (Grimes-Casey et al., 2007)

No que respeita ao sector da água mineral e de nascente, as vendas mostram que no ano 2008-2009, o consumo de embalagens de plástico (PET) aumentou, ao contrário das embalagens de vidro reutilizável e não-reutilizável, as quais sofreram um decréscimo, como de resto, podemos, facilmente, verificar em qualquer supermercado, em que a oferta deste tipo de embalagem (vidro) é diminuta ou limitada (

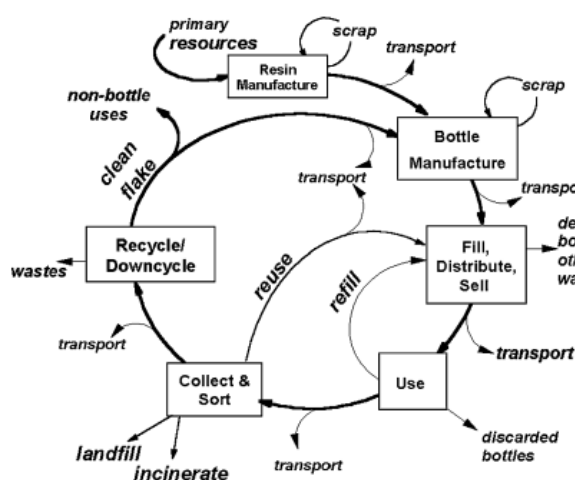
Figura 3.11). Este facto deve-se, essencialmente, à necessidade crescente de mobilidade do consumidor em geral, e às características oferecidas pela embalagem de plástico (menor peso, etc.).



**Figura 3.11 - Vendas de embalagens de água mineral e de nascente, no ano 2008-2009. (Fonte: APIAM / ANIRSF)**

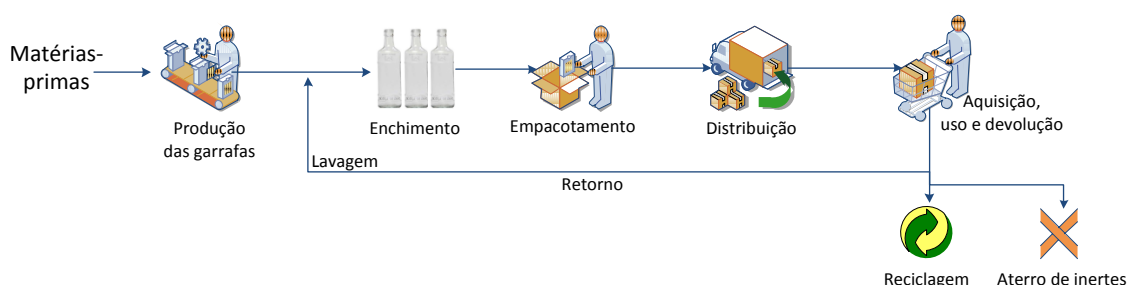
No presente estudo, irão ser considerados então, dois sistemas de gestão de embalagens diferentes – o sistema integrado e o sistema de consignação. Ambos os sistemas passam por fases principais como a produção das garrafas (que inclui a preparação, moldagem, empacotamento), o enchimento, a distribuição e o uso. O transporte desempenha um papel relevante nos dois sistemas, havendo diferenças significativas entre ambos. Na

Figura 3.12 está representado o ciclo de vida de uma garrafa, estando incluídas as duas alternativas referidas acima.



**Figura 3.12 - Ciclo de vida de um produto (garrafas de plástico). Adaptado de (Grimes-Casey et al., 2007)**

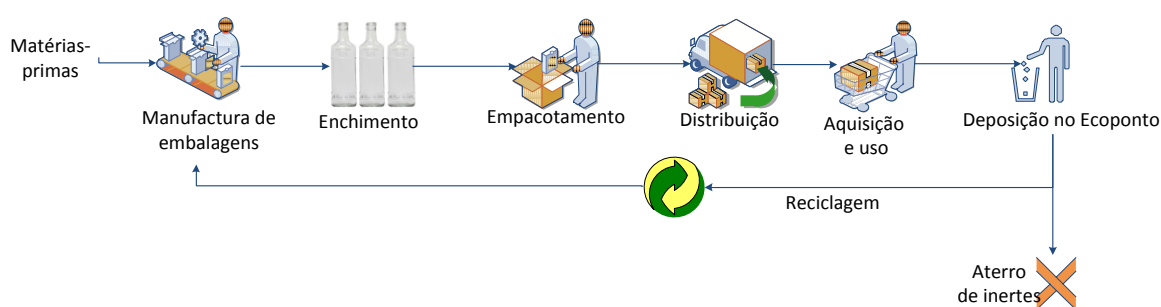
O sistema retornável aplicado à garrafa de vidro, também designado por sistema de consignação, está representado na Figura 3.13:



**Figura 3.13 - Esquema representativo do modelo de gestão de embalagens de vidro retornáveis.**

Neste caso, após a fase do uso, a garrafa retorna ao local de lavagem, enchimento e empacotamento e, posteriormente, ao ciclo de distribuição, podendo ser retornada até cerca de 25 vezes. No entanto, este ciclo de retorno pode ser interrompido a qualquer momento, procedendo-se nesse caso à reciclagem da garrafa de vidro (para a produção do mesmo produto ou para outros fins) ou, alternativamente, colocada em aterro de inertes.

O sistema não-retornável, aplicado à garrafa de PET, também designado por sistema integrado, está representado na Figura 3.14:



**Figura 3.14 - Esquema representativo do modelo de gestão de embalagens de PET não-retornáveis.**

No segundo caso, atravessando as mesmas fases iniciais que no primeiro caso, a diferença reside que a garrafa de vidro após o seu período de utilização, é reciclada (operação gerida pela SPV), podendo ser reciclada indefinidamente, ou em alternativa colocada em aterro de inertes.

Aqui é ainda incluído o sistema autónomo, aplicada à mesma temática, que consiste, essencialmente, na reutilização de uma embalagem de PET, para enchimento por parte do consumidor, a partir de uma fonte de água natural. Este sistema foi denominado de “autónomo” pelo seu carácter independente, visto que, todas as operações inerentes à reutilização da embalagem, dependem, exclusivamente, do consumidor, nomeadamente, o transporte de ida e volta.

### 3.8 ANÁLISE DE INVENTÁRIO AO CASO DE ESTUDO

#### 3.8.1 OBJECTIVO

O objectivo do presente caso de estudo consiste em avaliar a pegada de carbono associada aos dois sistemas de gestão acima referidos – consignação e integrado e ainda a um sistema adicional – o sistema autónomo - aplicados à disponibilidade de 0,5L água mineral ao consumidor em garrafas de vidro e PET, em Aveiro.

#### 3.8.2 ÂMBITO

A análise realizada ao presente caso de estudo é realizada no âmbito da comparação entre alternativas entre sistemas de gestão de embalagens retornáveis e descartáveis.

#### 3.8.3 DEFINIÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL

A unidade funcional considerada no âmbito do presente estudo é a satisfação de uma necessidade de bem-estar do consumidor correspondente a 0,5L de água mineral. (ver Tabela 3.2) na região de Aveiro.

**Tabela 3.2 - Tipo de embalagens consideradas na unidade funcional.**

<i>Sistemas</i>	<i>Produto</i>	<i>Embalagem</i>	<i>N.º de embalagem por unidade funcional</i>
Consignação	Água mineral	Garrafa de vidro de 0,5L	1
Integrado	Água mineral	Garrafa de PET de 0,5L	1
Autónomo	Água mineral	Garrafão de PET de 5L	0,1

A satisfação da referida necessidade de bem-estar pode ser conseguida por diferentes alternativas, aqui definidas como cenários.

A razão para a escolha da unidade funcional de 0,5L deve-se a uma questão de disponibilidade no mercado das embalagens dos dois materiais com a mesma capacidade.

### 3.8.4 DEFINIÇÃO DE MODELOS ALTERNATIVOS (CENÁRIOS)

Conforme referido acima, são incluídos três cenários distintos para este estudo, ou seja, três modelos alternativos que visam a satisfação do mesmo bem:

Cenário 1 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável.

Este cenário caracteriza-se pela inclusão de todas as fases necessárias à disponibilidade de 1 garrafa de vidro de capacidade de 0,5L de água mineral ao consumidor, assim como a gestão dos resíduos gerados. Este cenário enquadra-se no modelo de gestão de embalagens denominado “*sistema de consignação*”, em que as garrafas são devolvidas ao embalador, para posterior lavagem, enchimento, empacotamento e distribuição; Pretende avaliar a pegada de carbono associada a todo o ciclo de vida da referida unidade funcional, para posterior comparação com os cenários seguintes.

Cenário 2 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de PET.

O presente cenário é em tudo semelhante ao anterior, exceptuando-se o material da embalagem considerado – PET – ao invés de vidro e o tipo de gestão de resíduos de embalagem gerados – reciclagem – estando enquadrado no já referido “*sistema integrado*”. Estão incluídos os transportes associados aos trajectos de recolha de resíduos diferenciados (do local de recolha à estação de triagem e daqui à recicladora), não incluindo, no entanto, as operações de triagem e compactação efectuadas na estação de triagem; Pretende avaliar a pegada de carbono associada a todo o ciclo de vida da unidade funcional, comum ao cenário anterior.

Cenário 3 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água de nascente num garrafão de PET de 5L.

Este cenário foi construído para complementar os resultados obtidos nos dois cenários anteriores, e não para comparação directa entre eles. A análise efectuada abrange, igualmente, todas as fases do seu ciclo de vida, desde a produção ao seu descarte final, incluindo uma fase adicional, respeitante ao esforço de transporte à fonte natural a partir da qual o consumidor se irá abastecer de água mineral. É de salientar que a fonte natural considerada é a mesma que nos cenários anteriores, ou seja, trata-se do mesmo bem, com as mesmas características. Esta alternativa pressupõe a reutilização de 1

embalagem de PET de capacidade de 5L, no entanto, a operação de lavagem que lhe estaria subjacente não foi aqui considerada, visto esta poder ser efectuada com recurso à própria água de nascente, cujo impacto não é incluído no âmbito Ecoinvent.

### 3.8.5 FRONTEIRAS

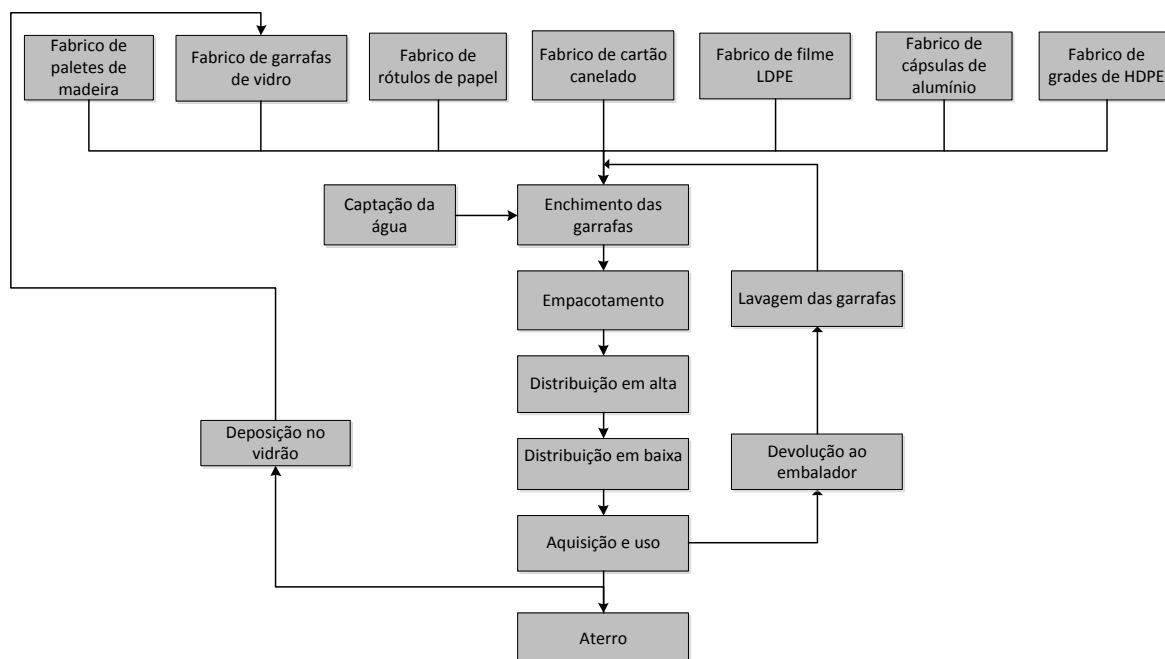
A abordagem seguida neste estudo é do tipo B2C (*"business-to-consumer"*), ou seja, o inventário de ciclo de vida inclui as diferentes matérias-primas, a manufactura, distribuição, uso pelo consumidor e a sua valorização e/ou descarte final.

### 3.8.6 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO PRODUTIVO

#### 3.8.6.1. CENÁRIO 1

O processo produtivo associado ao cenário 1 - *disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável* - encontra-se representado na **Figura 3.15**. O esquema apresentado inclui, de forma geral, as entradas e saídas do processo, nomeadamente, no que diz respeito aos materiais necessários à produção da embalagem de vidro (vidro, alumínio, papel), enchimento (água mineral), empacotamento (paletes de madeira, cartão granulado, filme de LDPE e grades de HDPE), ao esforço de transporte para a distribuição em alta (local de armazenamento) e em baixa (locais de distribuição – hipermercados) e gestão dos resíduos gerados (devolução em embalador, reciclagem das perdas).

É de salientar que para efeitos de inventário, a deposição em aterro não foi considerada, ao invés, as perdas do processo são na sua totalidade, enviadas para reciclagem.



**Figura 3.15 - Diagrama representativo das fases processuais associadas ao cenário 1. (Adaptado de Ferrão, 1998)**

### 3.8.6.2. CENÁRIO 2

O processo produtivo associado ao cenário 2 - *Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de PET*, encontra-se representado na **Figura 3.16**. O esquema inclui todas as matérias-primas necessárias à produção da embalagem de PET (PET, papel, cola, PP), enchimento (captação de água mineral), empacotamento (paletes de madeira, cartão granulado e filme LDPE), distribuição em alta e em baixa e gestão dos resíduos gerados (transporte de resíduos diferenciados até à recicladora, operação de reciclagem de PET).



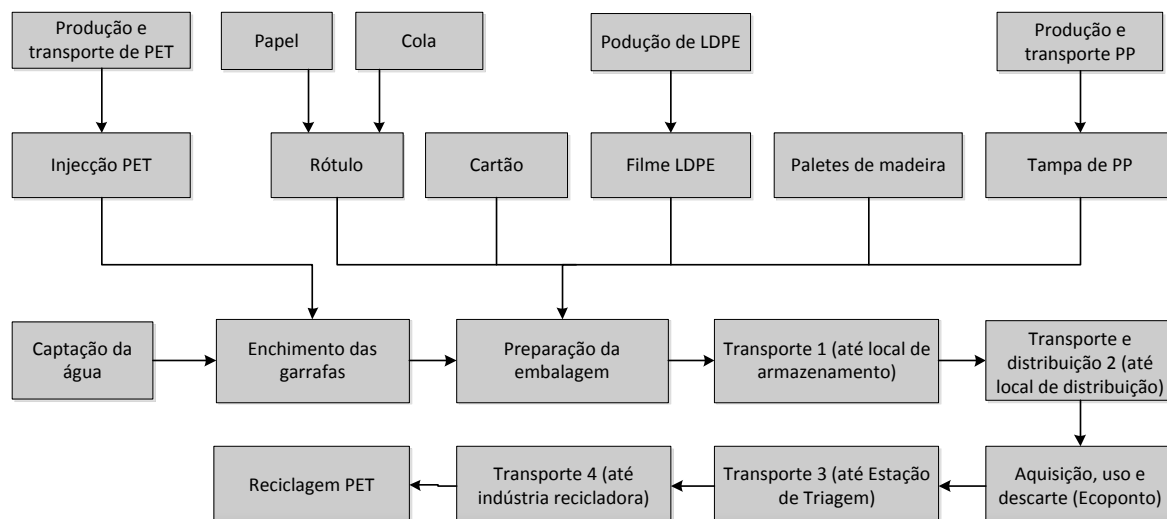


Figura 3.16 - Diagrama representativo das fases processuais associadas ao cenário 2.

### 3.8.6.3. CENÁRIO 3

O processo produtivo associado ao cenário 3 - *disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral num garrafão de PET de 5L*, encontra-se representado na **Figura 3.17**. Este, é em tudo semelhante ao descrito no cenário 2, à excepção da capacidade da embalagem (o que vai influenciar os resultados) e da inclusão de uma fase adicional – uso e reutilização – a qual se caracteriza pelo esforço de transporte à fonte natural. No final, a gestão de resíduos de embalagem efectua-se da mesma forma, ou seja, pelo processo de reciclagem.

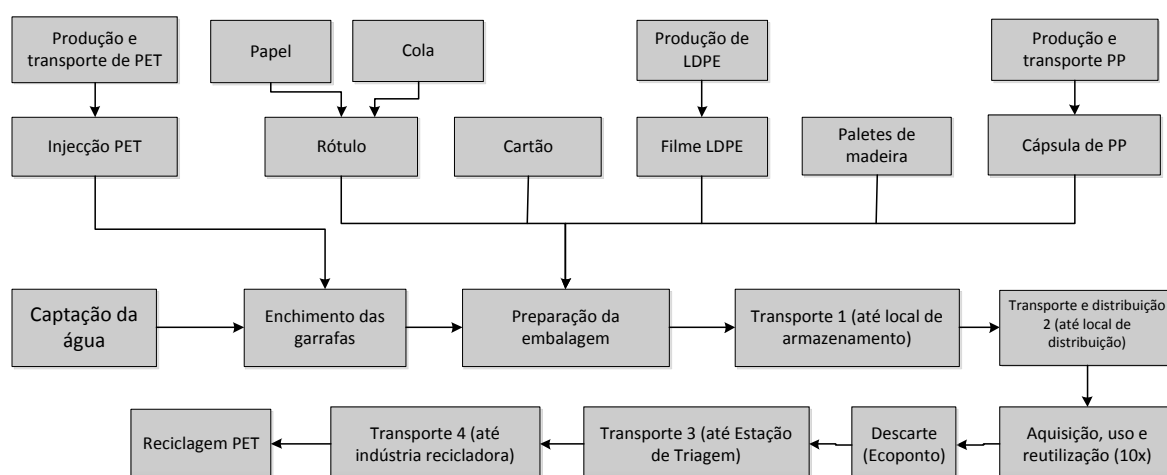


Figura 3.17 – Diagrama representativo das fases processuais associadas ao cenário 3.

### 3.8.7 DADOS DE PROCESSOS

A disponibilidade da unidade funcional exige a utilização de recursos tais como água mineral, matérias-primas (granulado de PET ou vidro branco para o fabrico da embalagem), materiais auxiliares (água, soda cáustica para lavagem das embalagens, papel para rótulos, paletes de madeira para embalagem). Durante o processo produtivo ocorrem emissões para o ambiente (atmosfera, água e solo).

Para realizar o inventário de ciclo de vida (ICV), é necessário estabelecer as quantidades envolvidas, isto é, especificando as relações de entradas e saídas (*input/output*).

Com o intuito de obter uma representação fidedigna, a informação referida deve advir, preferencialmente, de cada processo em específico. Na ausência de informação específica, foram efectuadas as aproximações consideradas mais adequadas a cada processo. Cada processo foi, então, tratado de forma específica, de forma a avaliar os bens mobilizados na totalidade.

As relações de entrada vs saída acima referidas são traduzidas em termos de uso de recursos naturais directos e tecnológicos, que, por sua vez, necessitam de processos que dependem do uso de outros recursos naturais directos e tecnológicos.

#### 3.8.7.1 DADOS GERAIS

Os dados gerais estão de acordo com a informação que está disponível na literatura aberta, como é o exemplo da densidade da água, do peso das paletes de madeira, dos locais onde se realizam os processos. Para o efeito de cálculo do esforço de transporte foram estabelecidos os locais onde ocorre o processo produtivo, a distribuição e o consumo. Tendo em conta os locais, foram determinadas as distâncias envolvidas nas deslocações. A distância entre locais onde se realizam os processos foi determinada com a ajuda de um programa disponível na Internet (<http://www.viamichelin.pt/viamichelin/>). Estes dados encontram-se reunidos e esquematizados no Anexo B.

#### 3.8.7.2 DADOS ESPECÍFICOS DIRECTOS

A informação específica diz respeito aos dados relativos ao processo produtivo, nomeadamente, as perdas consideradas nos processos, a utilização de electricidade nos

diferentes processos identificados (ex.: moldagem das embalagens, reciclagem de PET, ...), os materiais de embalagem para a realização do empacotamento, o uso de materiais auxiliares, a localização dos diferentes processos, a capacidade de transporte dos veículos envolvidos na logística, etc... Alguma desta informação foi obtida (massas, materiais de embalagem) considerando como base de estudo, uma marca existente no mercado. No entanto, grande parte dos parâmetros utilizados no inventário do caso de estudo foi obtida por estimativa ou consulta de bibliografia e/ou *links* relacionados.

Com o objectivo de tornar o estudo numa ferramenta fidedigna, foram contactadas várias entidades, nomeadamente, a Sociedade Ponto Verde, Plastval, VidroCiclo e Sociedade da Água do Luso. No entanto, na sua maioria, os contactos efectuados mostraram-se infrutíferos, pelo que em várias situações houve a necessidade de obter aproximações ou estimativas, como referido acima. A informação que diz respeito aos materiais de embalagem, nomeadamente, os pesos foram obtidos por simples pesagens em laboratório dos elementos necessários (rótulos, cápsulas, embalagens), mais uma vez com base nos produtos comerciais, disponíveis no mercado.

### 3.8.7.3 ESFORÇO DE TRANSPORTE

O esforço de transporte traduz-se na utilização de recursos (combustíveis,...) e emissões libertadas resultantes da movimentação de materiais/produtos/resíduos (ex: desde o local de produção da embalagem até ao local de empacotamento). As distâncias utilizadas foram determinadas, tendo sido definidos locais específicos e reais onde seriam efectuados os processos em causa.

Para cada trajecto a efectuar, o esforço de transporte é estabelecido em unidades veículo quilómetro (vkm/ unidade funcional referente ao processo), tendo em conta a distância, a carga do veículo e a unidade de carga (ver Anexo B).

No caso do esforço de transporte considerado para o transporte dos materiais de embalagem desde o fabricante ao local de produção da água engarrafada é dado por:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{vkm}}{\text{unidade funcional}} \right] = \frac{2 \times D [\text{km}]}{C \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{veículo}} \right] \cdot d \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right] \cdot \frac{1}{\text{m}} \left[ \frac{\text{unidade}}{\text{kg}} \right] \cdot (1000) \left[ \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right]} \quad \text{Eq. 3.1}$$

Assim, e a título de exemplo, o esforço de transporte de uma empilhadora, é dado por:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{vkm}}{\text{unidadefuncional}} \right] = 25\% \text{ de ocupação} \times \frac{24\text{h}}{\text{dia}} \times \frac{2,3\text{L de consumo}}{\text{h}} \times \frac{100\text{km}}{6\text{L}} \times \frac{\text{v.dia}}{16,67 \text{ paleta}} \times \frac{1 \text{ paleta}}{\text{n.º unidades}} \quad \text{Eq. 3.2}$$

O esforço de transporte para distribuição, é dado por:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{vkm}}{\text{unidadefuncional}} \right] = \frac{2 \times D [\text{km}]}{C \left[ \frac{\text{m}^3 \text{paletes}}{\text{veículo}} \right] \left[ \frac{\text{paleta}}{\text{m}^3} \right] \left[ \frac{\text{unidadefuncional}}{\text{paleta}} \right]} \quad \text{Eq. 3.3}$$

O esforço de transporte para a recolha de resíduos indiferenciados, (no caso dos guardanapos de papel) é traduzido por:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{tkm}}{\text{unidadefuncional}} \right] = M [\text{ton RSU}] \times D [\text{km}] \times m_g [\text{ton}] \times f_{gp} \left[ \frac{\text{ton } g_p}{\text{ton RSU}} \right] \quad \text{Eq. 3.4}$$

O esforço de transporte para a recolha de resíduos é dado por:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{vkm}}{\text{unidadefuncional}} \right] = \frac{2 \times D [\text{km}]}{C \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{v}} \right] \times d \left[ \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right] \times \frac{1}{\text{m} [\text{kg}]} \times 1000 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{ton}} \right]} \quad \text{Eq. 3.5}$$

A base de dados Ecoinvent apresenta as emissões e a utilização de recursos naturais para um determinado tipo de veículo, a seleccionar de conjunto de veículos, cada um dos quais com determinada capacidade de carga (ton/veículo), durante 1 km.

### 3.8.8 RESPONSABILIDADE

Com vista na obtenção de um estudo transparente e fidedigno, o PAS 2050 indica a necessidade do registo detalhado de todas as fontes e todos os pressupostos na análise das emissões. Devem, deste modo, ser especificados dados como as fronteiras assumidas, a abordagem (neste caso, “*from cradle-to-grave*”) e todas as referências.

### 3.8.9 PRESSUPOSTOS DO ESTUDO

Para o presente caso de estudo foram feitas diversas aproximações e estimativas, utilizadas para o cálculo de cada coeficiente tecnológico ( $x_{jk}$ ) dos respectivos processos (ver Anexo B). Reuniram-se, deste modo, um conjunto de parâmetros, essenciais para a compreensão de todo o estudo servindo, no futuro, de modelo para eventuais estudos neste domínio. Todos os cálculos relativos aos cenários 1 e 2, foram baseados em garrafas duma marca de água mineral existente no mercado, com a mesma capacidade (0,5L).

É importante realçar que não foi contabilizado para efeitos de inventário o impacto da depleção do recurso natural “água mineral”, mas apenas o respectivo esforço de captação da água, considerando para esse efeito, o consumo energético de uma bomba hidráulica (ver Eq. 3.5), devido à ausência de um processo adequado que o traduzisse na base de dados Ecoinvent.

O retorno traduz-se, no inventário realizado, na forma de uma taxa de perdas, estando contempladas as fases necessárias à reutilização das garrafas e colocação de novo no mercado (lavagem, enchimento, empacotamento e distribuição).

Diferentes pesos foram obtidos por simples pesagem numa balança com sensibilidade=0,01g (como por exemplo, a garrafa, o rótulo e cápsula das respectivas unidades funcionais). Outros foram obtidos por estimativa, devido à impossibilidade de proceder à sua pesagem (filme extirável, cartão canelado, usados no empacotamento das garrafas).

No esforço de transporte considerado no cenário 3 (sistema autónomo), foi considerada uma distância de ida e volta total de 100km à fonte natural e o transporte em automóvel particular de 50 garrafões de PET de capacidade de 5L, em simultâneo. Admitiu-se ainda uma reutilização dos garrafões de 10 vezes.

### 3.9 PROCESSOS RELATIVOS AO CENÁRIO 1

#### 3.9.1 DISPONIBILIDADE PARA CONSUMO DE 0,5 L DE ÁGUA MINERAL NUMA GARRAFA DE VIDRO RETORNÁVEL (11000)

Para dispormos de 0,5L de água mineral para consumo numa garrafa de vidro retornável (**Tabela 3.3**), temos de incluir diversas fases neste processo, tais como a produção da embalagem de vidro (11001), o enchimento das garrafas, o empacotamento da água mineral engarrafada e a sua distribuição (11002) e a gestão de resíduos (11003).

Ao longo do processo, foi considerado o retorno da embalagem, traduzido numa taxa de perdas de 0,5% do sistema, que vai ser alocado no processo 11000, multiplicando pelo  $g_k$  respeitante ao processo de produção da embalagem de vidro. Nos transportes também é reflectido o impacto do retorno, nomeadamente, no que diz respeito ao transporte de distribuição, isto é, na distância total considerada: transporta embalagens novas para o local de distribuição e regressa com embalagens retornadas para o local de armazenamento, pelo que é apenas considerada a distância da ida.

**Tabela 3.3 - Descrição do processo (11000).**

	includedProcesses	generalComment
<b>11000</b>	Inclui todos os processos e transportes envolvidos na produção, enchimento e empacotamento, distribuição e retorno de 1 garrafa de vidro, sendo a unidade funcional 0,5 L de unidade funcional numa garrafa de vidro.	O inventário refere-se à gestão de resíduos de embalagem de vidro, partindo da extracção e produção dos seus constituintes. O processo produz um subproduto - vidro partido. As perdas do sistema correspondem a 1 garrafa nova/200 garrafas utilizadas - correspondente a 0,5% de perdas do sistema, encaminhadas para o processo de reciclagem.

Os coeficientes tecnológicos ( $g_k$ ) são todos iguais à unidade, dado que todos os processos envolvidos são referentes à unidade funcional.

Na **Tabela 3.4** podemos visualizar a pegada de carbono total associada ao bem referente a uma unidade funcional (0,1113 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade) discriminada por cada fase.

**Tabela 3.4- Descrição geral e pegada de carbono do processo (11000).**

Unit Process Raw Data					Footprint (PC)
Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral numa garrafa de vidro retornável (11000)					Total
number10	name15	location16	unit17	g <sub>k</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
11001	Produção da embalagem de vidro de 0,5L de capacidade	PT	unit	0,005	0,0017
11002	Preparação, enchimento, empacotamento e distribuição	PT	unit	1	0,1089
11003	Gestão de resíduos	PT	unit	1	0,0007*
<b>11000</b>	<b>Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral numa garrafa de vidro retornável.</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,1135</b>

\* Este valor poderia ser desprezado, segundo o PAS 2050, visto que corresponde a um valor inferior a 1% do valor da pegada de carbono total, no entanto, para melhor compreensão do procedimento de cálculo, não foi aqui desprezado.

### 3.9.2 PRODUÇÃO DA EMBALAGEM DE VIDRO (11001)

O processo 11001 (**Tabela 3.5**) foi criado para definir a fase de produção do vidro de embalagem, localizado em Avintes e o transporte do produto ao embalador, localizado no Luso, onde será feito, posteriormente, o enchimento e empacotamento das garrafas de água mineral.

**Tabela 3.5 - Descrição do processo de produção da embalagem de vidro (11001).**

	includedProcesses	generalComment
11001	Este processo inclui a produção das garrafas de vidro e transporte ao local de enchimento (embalador).	O inventário refere-se à produção de 1 garrafa de vidro de capacidade de 0.5L de água mineral.

O processo *Ecoinvent 828* diz respeito ao material e energia usados para a produção de vidro de embalagem, bem como as suas emissões directas (para o ar e água) e resíduos. Este processo foi utilizado como sendo semelhante a um processo de produção de vidro de embalagem em Portugal. O coeficiente tecnológico ( $x_{jk}$ ) associado a este processo, corresponde à massa (kg) de vidro necessária ao fabrico de uma garrafa de vidro de 0,5L de capacidade:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kg vidro}}{\text{UF}} \right] = 0,319 \quad \text{Eq. 3.6}$$

As garrafas de vidro depois de produzidas, são embaladas em paletes de madeira, por camadas, revestidas por filme LDPE ([www.bavidros.pt](http://www.bavidros.pt)). O impacto destes materiais de

empacotamento é incluído neste sub-processo. Os parâmetros associados encontram-se discriminados no Anexo B1.

Foi admitido que cada paleta contém 5 camadas de 48 garrafas de 0,5L, perfazendo um total de 240 garrafas por paleta.

A quantidade de cartão canalado (processo *Ecoinvent 1691*) utilizado nas paletas para acondicionamento dos produtos, por unidade funcional, traduz-se da seguinte forma:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kg cartão}}{\text{UF}} \right] = \frac{2 \text{ kg cartão / paleta}}{240 \text{ garrafas / paleta}} = \frac{2}{240} = 0,0083 \quad \text{Eq. 3.7}$$

Relativamente ao processo *Ecoinvent 1916*, relativo ao sistema de transporte utilizado (veículo com capacidade de 3.5-20ton de capacidade para materiais de embalagem), o coeficiente tecnológico associado foi obtido através da Eq. 3.3, considerando uma distância de 100km entre o local de produção do vidro de embalagem ao embalador.

Na **Tabela 3.6** apresenta-se a pegada de carbono referente à produção da embalagem de vidro, de capacidade de 0,5L (0,3493 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade).

**Tabela 3.6 - Pegada de carbono total para o processo 11001.**

Unit Process Raw Data					Footprint(P <sub>k</sub> )
Produção da embalagem de vidro de 0,5L de capacidade (11001)					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
828	Packaging glass, white, at plant	RER	kg	0,3190	0,2857
1854	Packaging filme, LDPE, at plant	RER	kg	0,0010	0,0028
1691	Corrugated board, recycling, double wall, at plant	RER	kg	0,0083	0,0079
2526	EUR-flat pallet (pallet)	RER	unit	0,0042	0,0255
1916	Operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o fabricante de vidro de embalagem ao embalador)	CH	vkm	0,0400	0,0273
<b>11001</b>	<b>Produção da embalagem de vidro de 0,5L de capacidade</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,3493</b>

### 3.9.3 PREPARAÇÃO, ENCHIMENTO, EMPACOTAMENTO E DISTRIBUIÇÃO (11002)

O processo 11002 (**Tabela 3.7**), inclui os sub-processos de captação da água, lavagem de garrafas, enchimento das garrafas, rotulagem, o empacotamento em grades de HDPE e, finalmente, a sua distribuição em alta (até ao centro logístico) e em baixa (hipermercados de Aveiro).



**Tabela 3.7- Descrição do processo (11002).**

	includedProcesses	generalComment
11002	Este processo inclui a captação da água, lavagem das garrafas, enchimento das garrafas, aplicação de rótulos e tampas, empacotamento e distribuição.	O inventário refere-se à produção de 1 garrafa de capacidade de 0.5L de água mineral.

Neste processo foi considerado o consumo de energia (processo *Ecoinvent 631*), em que se admitiu um consumo energético anual do embalador, associado a uma capacidade produtiva anual (L água), tendo sido obtido o coeficiente tecnológico deste processo da seguinte forma:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{UF}} \right] = \frac{2124065 \text{ kWh / ano}}{17008835 \cdot 10^3 \text{ L / ano}} \cdot \frac{0,5\text{L}}{\text{UF}} = 6,244 \cdot 10^{-5} \quad \text{Eq. 3.8}$$

Para o processo de lavagem e preparação das garrafas retornadas, considerou-se o processo *Ecoinvent 336* respeitante à produção de hidróxido de sódio, utilizado com uma proporção de 1kg para a lavagem de 300 garrafas ( $x_{jk}=1/300\text{kg}$ ) e o consumo de 0,5 kg de água para 1 garrafa (ver processo *Ecoinvent 2288*). O transporte para a unidade de enchimento de água é desprezado.

No que respeita ao processo 828 ("*packaging film, LDPE, at plant*"), este contém a quantidade de plástico e respectivo transporte ao local de conversão em LDPE. Admite-se que para envolver uma paleta é necessário 0,250kg de filme e que as garrafas são colocadas em grades de HDPE de 12 unidades, sendo dispostas por camadas na paleta, tendo cada camada 4 grades, perfazendo um total de 4 camadas e no total 192 garrafas/paleta.

O processo *Ecoinvent 1854* refere-se ao processo de extrusão de alumínio, necessário à manufactura da cápsula de alumínio para selar as garrafas. A quantidade de alumínio admitida corresponde ao peso de uma cápsula (0,00225 kg). O processo de produção do vedante usado para a cápsula de alumínio das garrafas, foi considerado semelhante ao processo *Ecoinvent 7134*, em que o respectivo coeficiente tecnológico ( $x_{jk}$ ) é equivalente a uma massa estimada de  $15 \cdot 10^{-5}$  kg por unidade funcional.

O processo *Ecoinvent 1169* corresponde à produção do papel utilizado nos rótulos de embalagens, sendo a quantidade de papel igual ao peso de um rótulo (0,00075kg), obtido por pesagem.

Para captar a água mineral usada para o enchimento das garrafas, foi admitido o uso de uma bomba hidráulica, cuja potência foi determinada segundo a Eq. 3.9 (Quintela, 2005):

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_t}{\eta} \quad \text{Eq. 3.9}$$

Admitindo um caudal de  $50\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ , a uma altura da captação de 50m e um rendimento de 75%.

O coeficiente tecnológico das paletes de madeira usadas no transporte da água (processo Ecoinvent 2526), admitindo uma fracção de perdas de 0,01 (perde-se uma por cada 100 paletes) é dado por:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{paletes novas}}{\text{UF}} \right] = \frac{1 \text{ paleta}}{192 \text{ unidades}} \cdot \% \text{ perdas} = \frac{1}{192} \cdot 0.01 = 5,21 \cdot 10^{-5} \quad \text{Eq. 3.10}$$

No que respeita ao impacto associado aos transportes utilizados neste processo, nomeadamente, o transporte de distribuição e serviço de empilhadores foram determinados com base nas equações atrás descritas, Eq. 3.2 e Eq. 3.3, respectivamente.

A quantidade de madeira encaminhada para incineração corresponde às perdas acima referidas.

Na Tabela 3.8 encontram-se descritos os resultados em termos de PC para este processo.

**Tabela 3.8 - Pegada de carbono total do processo (11002).**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Enchimento, empacotamento e distribuição (11002)					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,00006	0,00004
336	sodium hydroxide, 50% in H <sub>2</sub> O, production mix, at plant	RER	kg	0,00333	0,00364
1829	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	kg	0,00167	0,00322
1854	packaging film, LDPE, at plant	RER	kg	0,00130	0,00350
1169	section bar extrusion, aluminium	RER	kg	0,00225	0,00225
1715	paper, woodcontaining, LWC, at plant	RER	kg	0,00075	0,00104
2130	disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration	CH	kg	0,00130	0,00002
2526	EUR-flat pallet (paleta), (perdas de 1%)	RER	unit	0,00005	0,00032
2288	Tap water, at user	RER	kg	0,50000	0,00016
7134	polysulphide, sealing compound, at plant	RER	kg	0,00015	0,00023
631	electricity, low voltage, production PT, at grid (bomba hidráulica)	PT	kWh	0,00009	0,00006
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de produção ao local de armazenamento)	CH	vkm	0,06283	0,04287
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de armazenamento ao local de distribuição - hipermercados)	CH	vkm	0,07507	0,05122
5743	operation, van < 3,5t (empilhadores)	RER	vkm	0,00110	0,00031
<b>11002</b>	<b>Enchimento, empacotamento e distribuição</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,10887</b>

Os materiais de embalagem adquiridos para a produção das garrafas de água mineral, encontram-se representados no Anexo B1.

### 3.9.4 GESTÃO DE RESÍDUOS (11003)

O processo 11003 (ver **Tabela 3.9**) inclui os sub-processos referentes à gestão de resíduos gerados durante o processo de produção das garrafas de água mineral, representados na tabela seguinte. Inclui as operações de reciclagem das perdas de vidro (correspondente a 5% sobre a massa de vidro de uma garrafa de 0,5L), o descarte da cápsula de alumínio (referente a uma garrafa), o transporte ao reciclador e a reciclagem de papel (referente ao rótulo de uma garrafa).

**Tabela 3.9 - Descrição geral do processo (11003).**

	includedProcesses	generalComment
11003	Inclui a fase de uso e devolução de uma garrafa de vidro. Assume-se uma % de perdas de 0,5%, que é encaminhada para reciclagem.	Contêm a operação de reciclagem da % de perdas no sistema de retorno das embalagens de vidro, reciclagem do rótulo, deposição em aterro da cápsula de alumínio e transporte do produtor ao reciclador.

Aqui importa realçar, que na ausência de um processo de reciclagem de vidro de embalagem na base de dados Ecoinvent, foi estimado um consumo de energia para o processo de reciclagem de casco não-processado, segundo a Eq.3.11., admitindo uma potência da instalação de 120kW, a recepção de 120.000ton/ano de resíduos, operação 24h/dia e uma % de perdas de 0,5%.

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{UF}} \right] = \frac{P_R [\text{kW}]}{\frac{120000 \text{ ton}}{\text{ano}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \cdot \frac{1 \text{ ano}}{365 \text{ d}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1}{\frac{m_{\text{garrafa}} [\text{kg}]}{\text{unidade}} \cdot \% f_p}} \quad \text{Eq.3.11.}$$

O esforço de transporte foi determinado a partir da Eq. 3.1. Os restantes sub-processos estão alocados à respectiva massa de cada componente (cápsula e rótulo). Na **Tabela 3.10** apresenta-se a pegada de carbono associada a este processo, com o resultado de 0,000685 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade.

Como já foi referido atrás, este processo (11003) poderia ser desprezado, dado que apresenta valores diminutos, inferiores a 1% do valor da PC total do processo 11000.

**Tabela 3.10 - Pegada de carbono total do processo 11003.**

Unit Process Raw Data					Footprint(P <sub>k</sub> )
Gestão de resíduos (11003)					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,000014	0,000010
2215	disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill	CH	kg	0,002250	0,000048
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde local de produção ao reciclador )	CH	vkm	0,000002	0,000001
1713	paper, recycling, no deinking, at plant	RER	kg	0,000750	0,000625
<b>11003</b>	<b>Gestão de resíduos</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,000685</b>

### 3.10 PROCESSOS RELATIVOS AO CENÁRIO 2

#### 3.10.1 DISPONIBILIDADE PARA CONSUMO DE 0,5 L DE ÁGUA MINERAL NUMA GARRAFA DE PET (12000)

O processo 12000 (**Tabela 3.11**) foi criado para representar o cenário 2 correspondente à disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral numa garrafa de PET, incluindo as fases de produção da embalagem de PET (processo 12001), o enchimento,

empacotamento e distribuição das garrafas de água mineral (processo 12002) e gestão de resíduos (processo 12003).

**Tabela 3.11 - Descrição geral do processo (12000).**

includedProcesses		generalComment
12000	Inclui todos os processos e transportes envolvidos na produção, uso e descarte de 1 garrafa de PET, sendo a unidade funcional 0,5 L de água. O processo refere-se ao sistema de gestão de embalagens integrado.	O inventário refere-se à gestão do fluxo de resíduos de embalagem de PET, partindo da produção dos seus constituintes, até ao seu destino final (reciclagem). O processo produz um subproduto - granulado de PET - correspondente ao produto do processo de reciclagem.

A pegada de carbono total associada a este cenário, encontra-se descrita na Tabela 3.12, discriminada por fase, expressa em kg CO<sub>2eq</sub>/unidade.

**Tabela 3.12 - Pegada de carbono total do processo 12000.**

Unit Process Raw Data					Footprint (PC)
Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral numa garrafa de PET.					Total
number10	name15	location16	unit17	g <sub>k</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
12001	Produção das embalagens de PET de 0,5L de capacidade	PT	unit	1	0,1103
12002	Enchimento, empacotamento e distribuição das garrafas de PET de água mineral	PT	unit	1	0,1250
12003	Gestão de resíduos	PT	unit	1	0,0035
<b>12000</b>	<b>Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral numa garrafa de PET.</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,2389</b>

### 3.10.2 PRODUÇÃO DAS EMBALAGENS DE PET (12001)

Este processo (ver Tabela 3.13) inclui a produção de granulado de PET (semelhante ao processo Ecoinvent 1828, “*Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant*”), o transporte desde o fornecedor do granulado ao local de produção das garrafas (ver processo Ecoinvent 1916) e o processo de extrusão do plástico pelo método de moldagem por sopro (processo Ecoinvent 1848 – “*Blow Moulding*”).

**Tabela 3.13 - Descrição geral do processo (12001)**

includedProcesses		generalComment
12001	Inclui todos os processos envolvidos na produção de 1 garrafa de PET, no local de captação da água, sendo a unidade funcional 0,5 L de água mineral.	O inventário refere-se à produção de 1 garrafa de PET, através do método de moldagem por sopro. Inclui o transporte do fornecedor do granulado de PET ao embalador. Admite-se que o embalador possui o equipamento necessário à produção das garrafas.

A quantidade de PET necessária ao fabrico da embalagem (processo Ecoinvent 1828), é equivalente à massa de uma garrafa de PET vazia e sem aplicações (massa=0,0268kg).

No que respeita ao processo 1848, este foi determinado tendo em conta o rendimento do processo de extrusão, especificado no LCI retirado da base de dados, em que 1 kg de *input* equivale a 0,997kg de plástico moldado. Deste modo, o coeficiente tecnológico foi obtido do seguinte modo:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kg PET (produção)}}{\text{UF}} \right] = \frac{m_{\text{garrafa,PET}}}{0,997} = 0,0269 \quad \text{Eq. 3.12}$$

Para a determinação do esforço de transporte (processo *Ecoinvent 1916*), foi usada a equação 3.1., considerando a densidade do PET de embalagem igual a 0,1 ton/m<sup>3</sup> (ver Anexo B2).

O resultado do cálculo da pegada de carbono encontra-se descrito na **Tabela 3.14**.

**Tabela 3.14 - Pegada de carbono total do processo 12001.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Produção da embalagem de PET de capacidade de 0,5L					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
1828	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	RER	kg	0,02679	0,07726
1848	Blow Moulding	RER	kg	0,02687	0,03305
1916	Operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o fornecedor ao local de produção)	CH	vkm	0,00005	0,00003
<b>12001</b>	<b>Produção das embalagens de PET de capacidade de 0,5L</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,11034</b>

### 3.10.3 ENCHIMENTO, EMPACOTAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DAS GARRAFAS DE PET DE ÁGUA MINERAL (12002)

O processo 12002 (**Tabela 3.15**) inclui a captação da água, o enchimento das garrafas e preparação da embalagem (aplicação de rótulos e tampas) e distribuição.

**Tabela 3.15 - Descrição geral do processo 12002.**

	includedProcesses	generalComment
11002	Este processo inclui a captação da água, enchimento das garrafas, aplicação de rótulos e tampas e empacotamento.	O inventário refere-se ao enchimento e empacotamento de 1 garrafa de PET de capacidade de 0,5 L de água mineral.

Admitiu-se um consumo energético anual do embalador, associado a uma capacidade produtiva anual (L água), de onde se obteve o consumo energético associado a uma unidade funcional (processo Ecoinvent 631), a partir da Eq. 3.8.

No que respeita às quantidades de papel e PP, correspondentes aos processos representativos do rótulo e cápsula (processo Ecoinvent 1715 e 1834, respectivamente), estes são equivalentes às massas obtidas por pesagem destes componentes. Admite-se que o sistema de embalagem das garrafas de PET é constituído por *pack's* 2x3 (6 garrafas) envoltos por filme LDPE a envolver um *pack* (50g), dispostos por camadas em paletes de madeira, perfazendo um total de 576 garrafas/paleta. O coeficiente tecnológico relativo às paletes, assim como a quantidade de cartão usada, foram determinados a partir das Eq. 3.10 e Eq. 3.7. (ver Anexo B2).

Os transportes para distribuição, assim como a potência da bomba hidráulica, foram alocados da mesma forma que no cenário anterior, ou seja, através das equações 3.2. e 3.3. As restantes quantidades de materiais de embalagem adquiridos neste processo e outros parâmetros encontram-se descritas no Anexo B2.

Os resíduos de madeira encaminhados para incineração correspondem a uma taxa de 1% de perdas sobre o peso de uma paleta de madeira (25kg), sendo o respectivo coeficiente tecnológico expresso por unidade funcional.

Na **Tabela 3.16** encontram-se as pegadas de carbono associadas a cada sub-processo, assim como a pegada total do processo 12002.

**Tabela 3.16 - Pegada de carbono total do processo 12002.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Enchimento, empacotamento e distribuição das garrafas de PET					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg CO <sub>2eq</sub> /kg
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,00006	0,00004
631	electricity, low voltage, production PT, at grid (bomba hidráulica)	PT	kWh	0,00009	0,00006
1715	paper, woodcontaining, LWC, at plant (rótulo)	RER	kg	0,00078	0,00108
1834	polypropylene, granulate, at plant (cápsula)	RER	kg	0,00140	0,00276
1854	packaging film, LDPE, at plant	RER	kg	0,00833	0,02239
1854	packaging film, LDPE, at plant	RER	kg	0,00043	0,00117
1691	corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant	RER	kg	0,00347	0,00331
2130	disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration	CH	kg	0,00043	0,00001
2526	EUR-flat pallet (palette), (perdas de 1%)	RER	unit	0,00002	0,00011
5743	operation, van < 3,5t (empilhadores)	RER	vkm	0,07667	0,02172
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o produtor ao local de armazenamento)	CH	vkm	0,04854	0,03312
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de armazenamento ao local de distribuição)	CH	vkm	0,05750	0,03923
<b>12002</b>	<b>Enchimento e empacotamento e distribuição das garrafas de PET</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,12501</b>

### 3.10.4 GESTÃO DE RESÍDUOS (12003)

O processo 12003 (**Tabela 3.17**) foi criado para representar a fase de gestão de resíduos, contendo a operação de reciclagem das embalagens de PET (processos Ecoinvent 631, 5743, 2288), reciclagem do rótulo de papel (processo Ecoinvent 1713) e transporte ao reciclador e à estação de triagem (processo Ecoinvent 1916).

**Tabela 3.17 - Descrição geral do processo 12003.**

	includedProcesses	generalComment
12003	Inclui a fase de uso e descarte de uma garrafa de PET.	Contêm a operação de reciclagem de embalagens de PET, a reciclagem do rótulo da garrafa, a incineração das perdas das paletes e lavagem do PET. Inclui os transportes necessários desde a recolha selectiva municipal ao reciclador.

Para a operação de reciclagem de PET, na ausência de um processo na base de dados que traduzisse esta operação, foi estimado o consumo de electricidade, água e combustível, na tentativa de se aproximar o mais possível da realidade. Para esse efeito, admitiu-se uma potência eléctrica instalada de 120 kW, e capacidade de recepção da recicladora de 1500kg/h de resíduos, para uma massa de 0,027kg/unidade, sendo o respectivo coeficiente tecnológico obtido pela Eq. 3.13.



$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{UF}} \right] = \frac{120 \text{ kWh}}{1500 \text{ kg/h}} \cdot \frac{0,027 \text{ kg}}{\text{unidade}} = 0,00214 \quad \text{Eq. 3.13}$$

A quantidade de papel enviada para reciclagem, correspondente ao rótulo de papel é igual ao seu peso ( $7,8 \times 10^{-4} \text{ kg/garrafa}$ ). Considera-se o consumo de água para operações de lavagem e descontaminação do PET, admitindo o uso de 4000L/h, com capacidade de reciclagem de 1500kg/h de resíduos, e por 0,027 kg/unidade funcional (1 garrafa de PET de 0,5L), do seguinte modo:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{UF}} \right] = \frac{4000 \text{ L/h}}{1500 \text{ kg/h}} \cdot \frac{0,027 \text{ kg}}{\text{unidade}} = 0,07144 \frac{\text{L}}{\text{UF}} \quad \text{Eq. 3.14}$$

O produto final deste processo é PET granulado, passível de ser utilizado para produção de diversas aplicações.

Neste processo, o esforço de transporte foi determinado, novamente, com o auxílio da equação 3.1.

A pegada de carbono associada ao processo de gestão de resíduos, apresenta-se, então, na **Tabela 3.18** ( $0,00352 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{unidade}$ ).

**Tabela 3.18 - Pegada total do processo 12003.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Gestão de resíduos					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
1713	paper, recycling, no deinking, at plant	RER	kg	0,00078	0,00065
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,00214	0,00152
2288	Tap water, at user	RER	kg	0,07144	0,00002
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde a estação de triagem ao reciclador)	CH	vkm	0,00021	0,00015
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde local de recolha à estação de triagem)	CH	vkm	0,00173	0,00118
<b>12003</b>	<b>Gestão de resíduos</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,00352</b>

### 3.11 PROCESSOS RELATIVOS AO CENÁRIO 3

#### 3.11.1 DISPONIBILIDADE PARA CONSUMO DE 0,5 L DE ÁGUA MINERAL NUM GARRAÇÃO DE PET DE 5L.

O processo 13000 (ver Tabela 3.19) foi criado para determinar a PC associada à disponibilidade para consumo de 0,5L de água de nascente num garrafão de 5L. Deste processo fazem parte os sub-processos 13001 (Produção da embalagem de PET de capacidade de 5L), 13002 (Transporte de ida e volta), 13003 (Gestão de resíduos).

**Tabela 3.19 - Descrição geral do processo (13000)**

	includedProcesses	generalComment
13000	Inclui todos os processos e transportes envolvidos na produção, uso e descarte de 1 garrafão de PET, sendo a unidade funcional 0,5 L de água mineral. O processo refere-se ao sistema autónomo.	O inventário refere-se à reutilização da embalagem de PET, para enchimento com água de fonte natural por parte do consumidor. Inclui as fases de produção da embalagem de PET, enchimento, distribuição, uso e descarte.

A pegada de carbono total relativa a este processo encontra-se representada na Tabela 3.20. O coeficiente tecnológico relativo ao processo 13001 é igual a 0,01, reflectindo a taxa de reutilização (10x), alocada à unidade funcional (0,5L) (Eq. 3.15).

$$g_k \left[ \frac{\text{garrafões novos}}{\text{UF}} \right] = \frac{1 \text{ garrafão}_{\text{novo}}}{10 \text{ garrafões}} \cdot \frac{1 \text{ garrafão}}{5L} \cdot \frac{0,5L}{\text{UF}} \quad \text{Eq. 3.15}$$

Em relação ao processo 13002, relativo a uma viagem de ida e volta à fonte natural, são transportados simultaneamente 50 garrafões de 5L, sendo o coeficiente tecnológico respectivo ( $g_k$ ) correspondente a 0,002:

$$g_k \left[ \frac{\text{viagem}}{\text{UF}} \right] = \frac{1 \text{ viagem}}{50 \text{ garrafões}} \cdot \frac{1 \text{ garrafão}}{5L} \cdot \frac{0,5L}{\text{UF}} \quad \text{Eq. 3.16}$$

Relativamente ao processo de gestão de resíduos (13003), o respectivo coeficiente tecnológico é equivalente a 0,01, valor obtido através da Eq. 3.15., visto que é enviado para reciclagem um garrafão em dez utilizações.

**Tabela 3.20 - Pegada de carbono do processo 13000.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral num garrafão de PET de 5L.					Total
number10	name15	location16	unit17	g <sub>k</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
13001	Produção da embalagem de PET de 5L	PT	unit	0,01	0,0090
13002	Transporte de ida e volta	PT	unit	0,002	0,0477
13003	Gestão de resíduos	PT	unit	0,01	0,0001
<b>13000</b>	<b>Disponibilidade para consumo de 0,5 L de água mineral num garrafão de PET de 5L.</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0568</b>

### 3.11.2 PRODUÇÃO DA EMBALAGEM DE PET DE 5L (13001)

O processo de produção da embalagem de PET inclui os processos associados à sua produção, enchimento, empacotamento e distribuição. A sua produção foi considerada semelhante ao processo Ecoinvent 1828 (*"Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant"*), cujo coeficiente tecnológico corresponde ao peso de um garrafão vazio de PET de 5L. À semelhança do cenário anterior, foi usado o processo de *"Blow Moulding"* (processo Ecoinvent 1848), cujo coeficiente tecnológico é obtido a partir da Eq. 3.12., substituindo a massa da garrafa de 0,5L pela massa da embalagem de 5L.

O esforço de transporte utilizado neste processo, foi determinado a partir da Eq. 3.1., com uma distância desde o fornecedor de PET ao embalador de 212km; a distância admitida desde o produtor ao centro de logística de 233km; a distância desde o centro de logística ao local de distribuição de 276km. O consumo energético foi obtido a partir da Eq. 3.8. O esforço de transporte desde o local de produção ao local de armazenamento e deste ao local de distribuição, foi determinado a partir da Eq. 3.3.

No caso da bomba hidráulica (ver Eq. 3.9), utilizada para captação da água para posterior enchimento, o coeficiente tecnológico foi determinado do mesmo modo dos cenários anteriores.

**Tabela 3.21 - Descrição do processo 13001.**

	includedProcesses	generalComment
13001	Inclui todos os processos envolvidos na produção de 1 garrafão de PET de capacidade de 5L, empacotamento e distribuição.	O inventário inclui a produção de 1 garrafão de PET, através do método de moldagem por sopro. Inclui o transporte do fornecedor do granulado de PET ao embalador. Admite-se que o embalador possui o equipamento necessário à produção das garrafas.

Em relação ao empacotamento das embalagens, os materiais adquiridos encontram-se descritos no Anexo B3. O consumo energético admitido foi equivalente ao do cenário anterior (Eq. 3.8).

A pegada de carbono total correspondente ao processo 13001, encontra-se representada na Tabela 3.22.

**Tabela 3.22 - Pegada de carbono do processo 13001.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Produção da embalagem de PET de 5L					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
1828	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	RER	kg	0,12000	0,34608
1848	Blow Moulding	RER	kg	0,12036	0,14803
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,00006	0,00004
631	electricity, low voltage, production PT, at grid (bomba hidráulica)	PT	kWh	0,00091	0,00064
1715	paper, woodcontaining, LWC, at plant	RER	kg	0,00085	0,00118
1834	Polypropylene, granulate, at plant	RER	kg	0,00250	0,00493
1854	packaging film, LDPE, at plant	RER	kg	0,00625	0,01679
1854	packaging film, LDPE, at plant	RER	kg	0,00260	0,00700
1691	corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant	RER	kg	0,02083	0,01984
2526	EUR-flat pallet (palette)	RER	unit	0,00010	0,00064
5743	operation, van < 3,5t (empilhadores)	RER	vkm	0,01102	0,00312
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o fornecedor ao l.produção)	CH	vkm	0,00255	0,00174
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o produtor ao local de armazenamento)	CH	vkm	0,23300	0,15898
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de armazenamento ao local de distribuição)	CH	vkm	0,27600	0,18833
2130	disposal, wood untreated, 20 % water, to municipal incineration	CH	kg	0,00260	0,00003
<b>13001</b>	<b>Produção da embalagem de PET de 5L</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,89738</b>

### 3.11.3 TRANSPORTE DE IDA E VOLTA

O processo 13002 diz respeito ao transporte efectuado por parte do consumidor até à fonte e respectivo regresso. (ver Tabela 3.23). A distância à fonte é considerada de 50 km, efectuada com um veículo de passageiros (processo Ecoinvent 1934, “*operation passenger car*”), onde são transportados, simultaneamente, 50 garrações da mesma capacidade.

**Tabela 3.23 - Descrição geral do processo 13002.**

	includedProcesses	generalComment
13002	Este processo inclui o transporte de ida e volta à fonte, num veículo de passageiros.	É realizado o transporte de um conjunto de 50 garrações, em simultâneo. As operações necessárias à reutilização da embalagem de PET, como a lavagem não são consideradas.

A operação de lavagem necessária à reutilização das embalagens, não é aqui contabilizada, visto ser utilizada a própria água da fonte natural para o efeito. O impacto da depleção do recurso natural “água de nascente” não é considerado, pois trata-se de um recurso renovável. Na Tabela 3.24 apresenta-se a  $P_k$  relativa a este processo, discriminada pelo sub-processo. A distância total associada à viagem de ida e volta à fonte natural, (correspondente ao  $x_{jk}$ ), é de 100km:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{km}}{\text{viagem}} \right] = \text{distância}_{\text{fonte}} = 2 \times 50 \text{ km} = 100 \quad \text{Eq. 3.17}$$

**Tabela 3.24 - Pegada de carbono do processo 13002.**

Unit Process Raw Data					Footprint ( $P_k$ )
Transporte de ida e volta					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg $CO_{2eq}/unit$
1934	Operation, passenger car	RER	km	100	23,85
<b>13002</b>	<b>Transporte de ida e volta</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>23,85</b>

#### 3.11.4 GESTÃO DE RESÍDUOS

O processo 13004 (ver Tabela 3.25) refere-se à gestão de resíduos gerados durante o ciclo de vida da embalagem de PET. A operação de reciclagem de PET, à semelhança do que se verificou nos cenários anteriores, foi traduzida em termos de consumo energético, devido à ausência de um processo adequado disponível na base de dados Ecoinvent. Este consumo foi determinado do mesmo modo do cenário anterior, a partir da Eq. 3.13., apenas com a diferença do peso da embalagem de 5L (0,120kg/unidade funcional).

**Tabela 3.25 - Descrição geral do processo 13004.**

	<b>includedProcesses</b>	<b>generalComment</b>
13004	Inclui a fase de descarte da embalagem de PET.	Contêm a operação de reciclagem de embalagens de PET, a reciclagem do rótulo da garrafa, a incineração das perdas das paletes. Inclui os transportes necessários desde a recolha selectiva municipal ao reciclador.

O esforço de transporte é subdividido no transporte dos resíduos de embalagem do Ecoponto à Estação de Triagem e daqui ao reciclador. Ambos foram determinados a partir da Eq. 3.1. O transporte de resíduos diferenciados do local de recolha à estação de triagem foi efectuado por um serviço de transporte de camiões com capacidade de 2ton de resíduos de embalagem; capacidade útil estimada de 20m<sup>3</sup>. O transporte de resíduos compactados em fardos foi efectuado por um serviço de transporte de camiões com capacidade de 9 ton, com capacidade útil estimada de 20m<sup>3</sup>.

A  $P_k$  associada a este processo encontra-se descrita na Tabela 3.26.

**Tabela 3.26 - Pegada de carbono total do processo 13004.**

<b>Unit Process Raw Data</b>					<b>Footprint (<math>P_k</math>)</b>
<b>Gestão de resíduos</b>					<b>Total</b>
<i>number10</i>	<i>name15</i>	<i>location16</i>	<i>unit17</i>	$x_{jk}$	<i>kg CO<sub>2eq</sub>/unit</i>
1713	paper, recycling, no deinking, at plant	RER	kg	0,0009	0,0007
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,0096	0,0068
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde local de recolha à estação de triagem)	CH	vkm	0,0010	0,0007
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde a estação de triagem ao reciclador)	CH	vkm	0,0078	0,0053
<b>13004</b>	<b>Gestão de resíduos</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0135</b>



## **4 SERVIÇO DE BEM-ESTAR DE USO DE GUARDANAPOS À MESA**

### **4.1 IMPORTÂNCIA DO BEM/ SERVIÇO DE BEM-ESTAR**

O conforto/bem-estar é, nos dias de hoje, um elemento fundamental nas nossas vidas. Este é composto por inúmeros factores e vertentes, nomeadamente, a limpeza e higiene. São variados os produtos disponíveis ao consumidor que lhe satisfaçam essa necessidade. Um deles, usado em circunstâncias de refeições, é o guardanapo - de papel *tissue* ou de pano (algodão), o qual já não podemos dispensar do nosso quotidiano. Este produto foi sofrendo algumas alterações, nomeadamente, no que respeita ao material com que é produzido: no início começou por ser produzido e usado em pano e só, mais tarde, se começou a produzir o mesmo bem em papel *tissue*. Posteriormente, as empresas que produzem estes produtos, apostaram em diversificar a oferta, multiplicando os modelos e cores disponíveis.

A escolha deste bem para o presente estudo, prende-se com a sua sistemática utilização por parte do consumidor, em grande volume/quantidade. Se tomarmos atenção à teoria “*Small is beautiful*” (Schumacher, 1999), esta alerta-nos para a necessidade de uma visão mais intimista da economia e consumismo, à escala humana e individual, que reflecta as nossas escolhas e estilos de vida, ao contrário de teorias de outros economistas que defendem que o consumo é apenas o objectivo único da actividade económica. Esta teoria aplica-se não só à vertente económica, mas também, social, pessoal e ambiental. Seguindo esta teoria, é importante começarmos a incluir nos estudos realizados, as necessidades individuais e ter sempre presente que um pequeno gesto/acção pode ter consequências significativas, a todos os níveis.

No âmbito da política dos 4R's, é importante proceder à reutilização dos produtos que usamos, evitando, deste modo, as emissões associadas ao uso de matérias-primas e bens tecnológicos para a produção de novos produtos. É importante estudar a relação das reutilizações do bem em estudo no seu ciclo de vida com o seu destino final, ou seja, procurando determinar de que forma o número de reutilizações, contribui para o seu impacto no ambiente.

Este estudo vai permitir, deste modo, fundamentar decisões por parte do consumidor, ao nível deste tipo de produto, para além de ser possível determinar oportunidades de



melhoria nos processos produtivos em estudo, ou seja, em que fases se poderiam poupar recursos e emissões.

A ACV é, portanto, uma ferramenta que permite ajudar nas escolhas do quotidiano, no que diz respeito, aos produtos que mais utilizamos, em que um pequeno esforço de reutilização pode fazer a diferença em termos de impacto no ambiente.

## 4.2 PRODUÇÃO E RECICLAGEM DO PAPEL

O papel tem diferentes formas e aplicações, sendo utilizado para a produção de embalagens de cartão, revistas, jornais, rótulos, papel de impressão, papel *tissue*, entre outras.

A indústria do papel é de elevada importância, dado que permite a disponibilidade de diferentes produtos à sociedade, contribuindo para a competitividade e crescimento da economia. Do ponto de vista ambiental, o papel é produzido a partir de recursos renováveis, é biodegradável e reciclável e ainda constitui uma fonte de energia renovável no seu fim de vida. (paperonline, 2010)

A produção de papel pode ser dividida em três fases: produção da pasta de papel, produção do papel e acabamentos (ver Figura 4.1). O papel atravessa diferentes fases e é submetido a várias operações até estar na sua forma final. Existem diferentes tipos de processos para a produção da pasta de papel, como a química ("*chemical pulp*") e a mecânica ("*mechanical pulp*"). (<http://www.paperonline.com>)

O ciclo de produção do papel encontra-se representado na Figura 4.1, onde são apresentadas as fases pelas quais o papel atravessa, "*from cradle-to-grave*".

Em 2005, a quantidade total de papel produzido na Europa foi de 99,3 milhões de toneladas, dos quais são gerados 11 milhões de toneladas de resíduos, correspondendo a 11% em relação à produção total. Comparando diferentes tipos de papel, nomeadamente, papel de jornal, papel de embalagem e papel *tissue*, este é o que apresenta maior quantidade de resíduos sólidos produzidos (500-600kg) por ciclo de produção. (Monte *et al.*, 2009)

Em Portugal, verificou-se uma tendência crescente para a quantidade de resíduos de papel e produtos de papel, de 1998 até 2000. (Eurostat, 2003) No entanto, a % de reciclagem deste tipo de resíduo tem aumentado. Relativamente aos resíduos municipais recolhidos selectivamente (ver Tabela 4.1), este tipo de resíduo corresponde a 24 % do total no ano de 2000. (Eurostat, 2003).

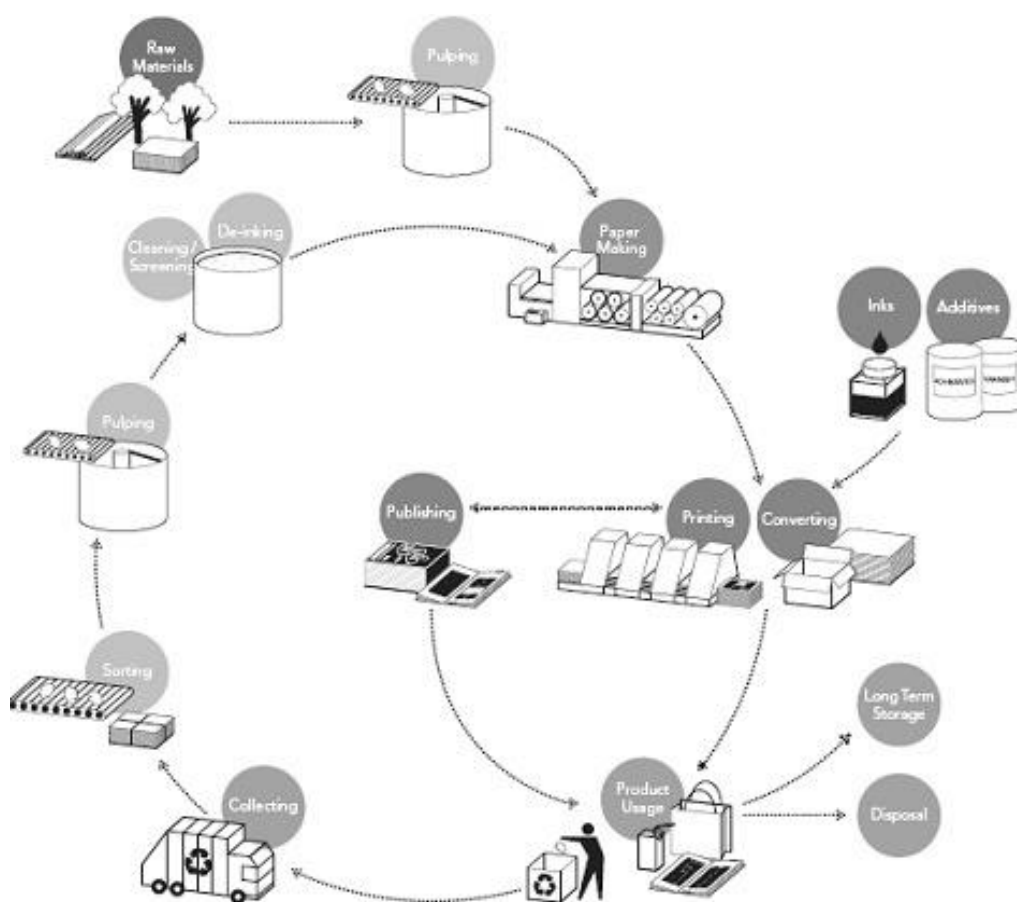


Figura 4.1 - Ciclo contínuo da produção de pasta e papel. (Fonte: [www.paperonline](http://www.paperonline))

Com o aumento do uso do papel reciclado, o aumento da aplicação do tratamento de efluentes, restrições de legislação e os custos crescentes dos aterros, a indústria do papel é forçada a dar cada vez mais ênfase na gestão dos resíduos de papel. (<http://www.aspapel.es>)

**Tabela 4.1 - Dados percentuais relativos à taxa de reciclagem das fracções recolhidas selectivamente.**

	<i>Papel, cartão e produtos de papel</i>	<i>Têxteis</i>	<i>Plásticos</i>	<i>Vidro</i>	<i>Metais</i>	<i>Materiais orgânicos</i>	<i>Resíduos volumosos</i>	<i>Outros</i>
<b>Portugal</b>	% Total, ano 2000							
	24	3	11	6	2	36	...	18

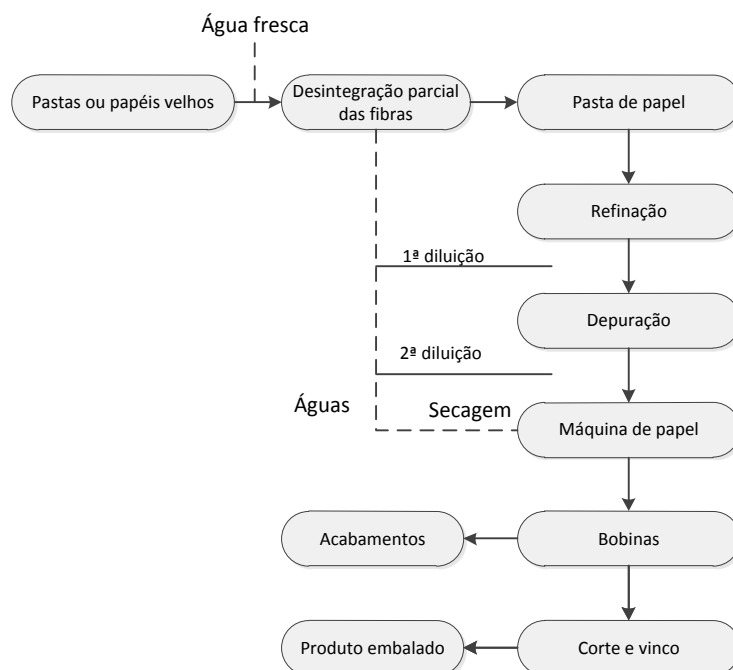
Fonte: Eurostat, 2003

Com o intuito de melhorar a performance ambiental da indústria do papel, têm sido feito investimentos, não apenas no processo produtivo em si, mas também nos sistemas de tratamento de efluentes líquidos e gasosos. Além disto, é importante introduzir tecnologias limpas e energeticamente eficientes que visem a prevenção da poluição. (Lopes *et al.*, 2003)

O processo de reciclagem do papel atravessa diferentes fases, representadas na Figura 4.2. Inicialmente, faz-se a separação das fibras, resultando uma pasta aquosa. Esta pasta é, então, submetida a um processo de refinação, onde são conferidas a resistência e qualidade necessárias ao papel – e a um processo de depuração – no qual são retirados os materiais contaminantes como tintas. Por fim, a pasta de papel é sujeita a uma operação de secagem.

Teoricamente, todos os materiais adicionados ao papel são recicláveis, pelo que podem, efectivamente, ser retidos numa forma funcional do próximo ciclo. (Rainbow, 1994)

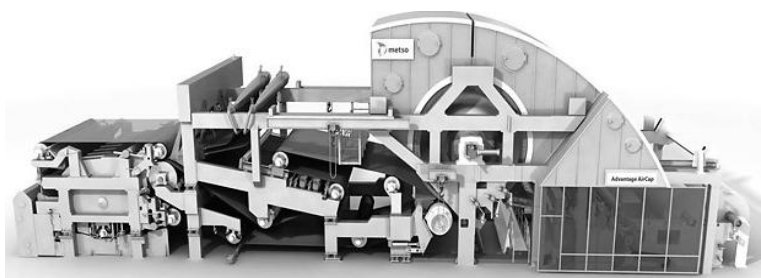
No entanto, a reciclabilidade de um produto de papel, depende, portanto, do tipo de fibras pelo qual é constituído e pela sua estrutura.



**Figura 4.2 - Diagrama representativo do processo de produção de papel a partir de papel reciclado.**  
(Fonte: [www.recipac.pt](http://www.recipac.pt))

#### 4.2.1 PAPEL TISSUE

O papel que constitui o guardanapo é o papel *tissue*, conhecido, essencialmente, pelas suas características absorventes, resistência e suavidade, adequado para uso doméstico, nomeadamente, na forma de guardanapos, papel higiénico e papel de cozinha. Os guardanapos constituem um conforto indispensável nas nossas vidas, tendo em conta a sua função e versatilidade. No entanto, na maioria dos casos, provavelmente, usufruímos deste bem de forma excessiva, não racionalizando o nosso consumo real e os resíduos que estamos de forma inevitável a gerar.



**Figura 4.3 - Exemplo de uma máquina de produção de papel *tissue*.** (Fonte: [www.industry.siemens.com](http://www.industry.siemens.com))

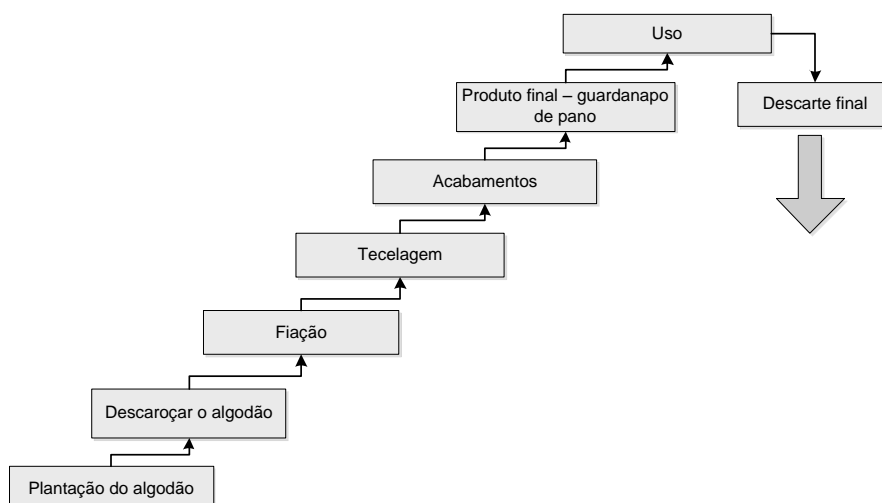
A sua produção inclui diferentes fases como a moldagem, pressurização húmida e secagem, realizada com o auxílio de uma máquina específica para este tipo de produção – *tissue machine* (ver **Figura 4.3**). Este tipo de papel é constituído, essencialmente, a partir de fibra virgem (<http://www.aspapel.es>)

É de salientar que não se descarta aqui a possibilidade da reutilização deste produto para outros fins, depois de cada utilização, adiando deste modo o seu descarte no ambiente. No entanto, a gestão deste tipo de resíduos faz-se, actualmente, através do seu descarte no contentor dos resíduos sólidos indiferenciados pelo consumidor, sendo, após recolha municipal, encaminhados para aterro. Devido a razões relativas à natureza das fibras do papel *tissue*, que constituem o guardanapo de papel, este não é adequado ao processo de valorização material/reciclagem, distinguindo-se do papel corrente de impressão ou de embalagem, que pode ser usado para produzir fibras destinadas ao fabrico de papel/cartão reciclado. Deste modo, as fibras virgens devem ser utilizadas em produtos potencialmente recuperáveis (por exemplo, revistas, jornais), ao contrário do caso do papel não-recuperável (toalhas, *tissue*) em que devem ser feitos a partir de fibras não-recicláveis, desde que ofereçam a configuração do papel desejada. (Rainbow, 1994) Também devido ao grau de contaminação que os guardanapos de papel acumulam depois de uma refeição e, eventualmente, à humidade que acumulam, estes estão impossibilitados de serem encaminhados para valorização material, tendo apenas como destinos finais possíveis, o aterro, a compostagem, a valorização orgânica ou a reutilização para outros fins.

### 4.3 OS GUARDANAPOS DE PANO

No caso dos guardanapos de pano, estes são reutilizáveis até um número significativo de vezes, no entanto, implicam o consumo de outros bens como água, electricidade e agentes de limpeza (detergente, etc.) para permitir essa mesma reutilização. Esta reutilização passa, deste modo, pela sua lavagem (no presente estudo foi considerada lavagem em máquina de lavar), secagem (foi desprezada dado poder ser concretizada ao ar livre) e engomagem (ainda que facultativa, foi considerada para efeitos de inventário).

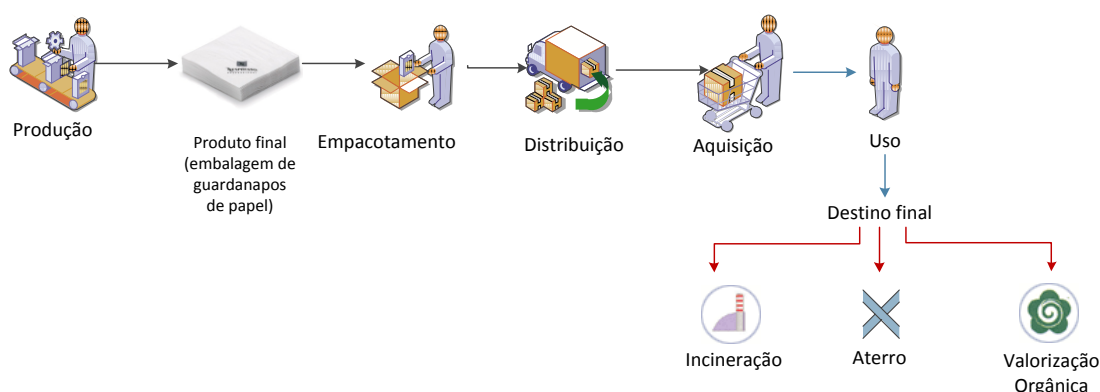
A Figura 4.4 representa os passos gerais incluídos na produção deste bem – o guardanapo de algodão.



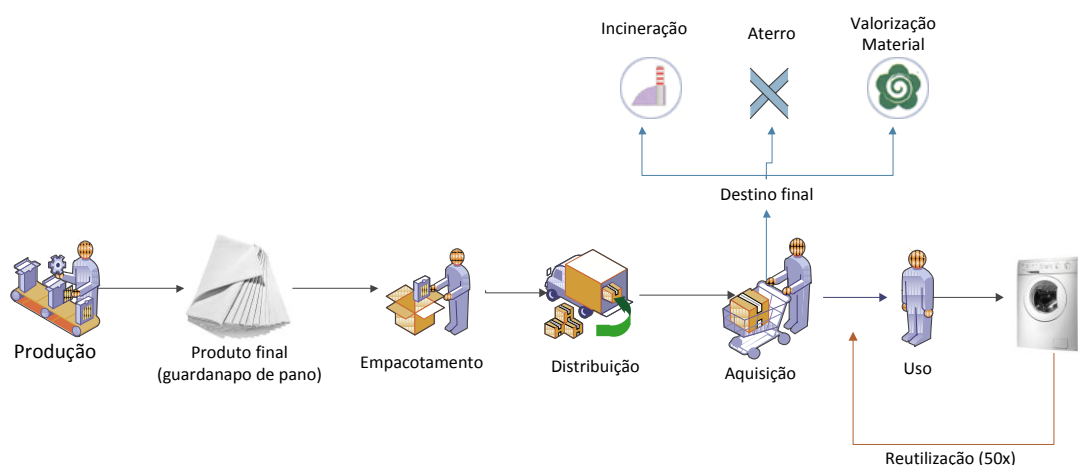
**Figura 4.4 - Diagrama representativo dos processos envolvidos na produção de guardanapos de algodão. Adaptado de (Horrocks, 1996)**

#### **4.4 MODELOS ALTERNATIVOS - GUARDANAPOS DE PAPEL E PANO**

No âmbito desta dissertação, é feita uma análise comparativa de dois cenários – uso de guardanapos de papel (**Figura 4.5**) vs uso de guardanapos de pano (**Figura 4.6**). O desenvolvimento deste caso de estudo pretende fornecer resultados capazes de fundamentar, adequadamente, a opção entre as duas alternativas quer para uso doméstico quer para a restauração ou outras entidades públicas interessadas na eco-eficiência dos seus serviços. O resultado traduz-se em termos de pegada de carbono, associada ao respectivo processo considerado. No caso do cenário 1, é considerada a fase do uso, em que após o qual poderá ser feito o descarte final (incineração, aterro e valorização material). Em relação ao cenário 2, considera-se um nº de reutilizações de 50 vezes, as quais implicam a lavagem dos guardanapos, ao fim das quais se descarta o bem, existindo as mesmas três alternativas – incineração, aterro e valorização orgânica (ver **Figura 4.6**). Nos dois cenários existem as mesmas fases genéricas relativas à produção dos guardanapos, empacotamento, distribuição e descarte final.



**Figura 4.5 - Esquema representativo do processo relativo ao cenário 1 – uso de guardanapos de papel.**



**Figura 4.6 - Esquema representativo do processo relativo ao cenário 2 – uso de guardanapos de pano.**

Para efeitos de inventário foi considerado o mesmo modo de gestão de resíduos – incineração – para ambos os cenários, por uma questão de facilitar a comparação e acesso de informação.

## **4.5 ANÁLISE DE INVENTÁRIO AO CASO DE ESTUDO**

### *4.5.1 OBJECTIVO*

O objectivo do presente caso de estudo consiste em fazer uma análise comparativa da pegada de carbono associada ao serviço de bem-estar proporcionado por guardanapos de papel e guardanapos de pano de mesa, ao consumidor.

### *4.5.2 ÂMBITO*

O desenvolvimento deste caso de estudo vem no seguimento da importância da comparação entre bens descartáveis e reutilizáveis, com o intuito de fundamentar decisões por parte do consumidor.

### *4.5.3 DEFINIÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL*

A unidade funcional considerada é a satisfação de uma necessidade de bem-estar correspondente ao uso de guardanapos no âmbito de refeições.

### *4.5.4 DEFINIÇÃO DE MODELOS ALTERNATIVOS (CENÁRIOS)*

Para o efeito de definição da unidade funcional considera-se que um guardanapo de pano de algodão (45x 45 cm) com 64g oferece o mesmo serviço que dois guardanapos de papel *tissue* branco (33x 33cm) com 1,8g. Para a concretização do objectivo proposto, foram criados dois cenários distintos, que visam a satisfação do mesmo bem:

No cenário 1 – uso de guardanapos de papel - são incluídas as fases de produção, empacotamento, distribuição, uso e descarte de guardanapos de papel *tissue* branco com as dimensões 33x 33cm (2 unidades). Para efeitos de inventário, foi considerada a “incineração” como o descarte comum aos dois cenários; pretende avaliar a pegada de carbono associada a todo o ciclo de vida da referida unidade funcional, para posterior comparação com o cenário seguinte.



No cenário 2 – uso de guardanapos de pano - são incluídas as mesmas fases que no cenário anterior, à excepção de uma fase adicional, nomeadamente, a fase de reutilização. Esta reflecte-se através de uma taxa de reutilização (50x), implicando operações como a lavagem (com uso de recursos como água, electricidade e detergente) e engomagem. É de salientar que a secagem não foi contabilizada no inventário, tendo sido considerado que foi realizada ao ar livre. Como destino final, foi considerada a incineração (para facilitar a comparação entre cenários); pretende avaliar a pegada de carbono associada a todo o ciclo de vida da unidade funcional admitida, para posterior comparação com o cenário anterior.

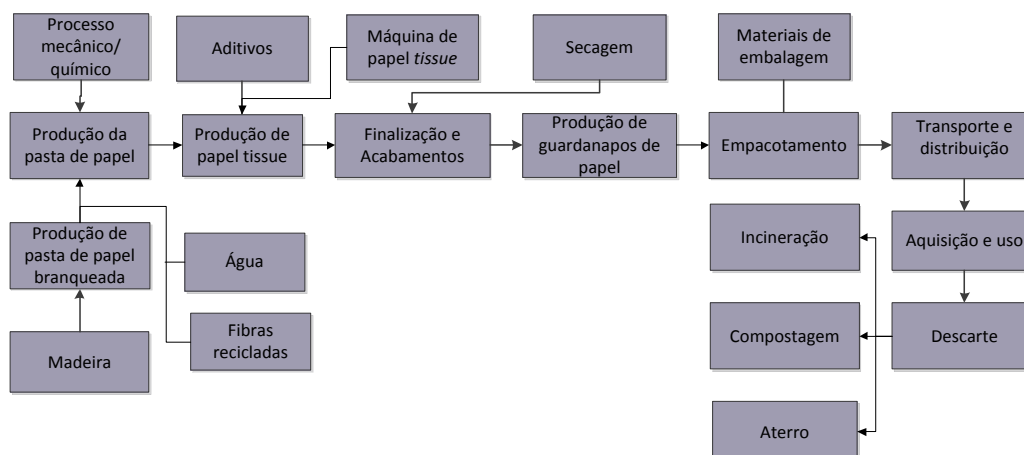
#### 4.5.5 FRONTEIRAS

A abordagem seguida é do tipo B2C (*“business-to-consumer”*), ou seja, o inventário de ciclo de vida inclui as diferentes matérias-primas, manufactura, distribuição, uso do consumidor, reutilização (no caso do cenário 2), valorização e/ou descarte final.

#### 4.5.6 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

##### 4.5.6.1. CENÁRIO 1 – USO DE GUARDANAPOS DE PAPEL

Na Figura 4.7 encontra-se representado o ciclo de vida do bem em estudo – guardanapos de papel *tissue* – desde a sua produção ao fim de vida. A sua produção atravessa diversas fases, nomeadamente, a produção de pasta de papel branqueada, a produção de pasta de papel, a produção de papel *tissue* e, finalmente, a produção de guardanapos de papel. São diversos os recursos e matérias-primas utilizados no processo produtivo, como por exemplo, madeira, água, fibras recicladas, aditivos, etc. Posteriormente, segue-se o empacotamento do produto final – guardanapos de papel – o transporte e distribuição. Por fim, temos o uso e descarte final do resíduo gerado, que pode ser gerido de três formas distintas – incineração, compostagem e aterro.



**Figura 4.7 - Diagrama representativo do ciclo de vida relativo ao cenário 1.**

#### 4.5.6.2. CENÁRIO 2 – USO DE GUARDANAPOS DE PANO

Na Figura 4.8 está representado o ciclo de vida relativo ao cenário 2 – uso de guardanapos de pano. Estão contempladas as fases de produção dos guardanapos de pano, empacotamento, distribuição, uso, reutilização e descarte final. A produção implica diversas operações como, primeiramente, a plantação do algodão, a fiação das fibras de algodão, a tecelagem e a finalização e acabamentos. Segue-se o empacotamento, distribuição, uso e reutilização. Esta inclui operações como a lavagem, que recorre a recursos como a água e electricidade. Por fim, surge o descarte final, existindo duas alternativas distintas – aterro e incineração.

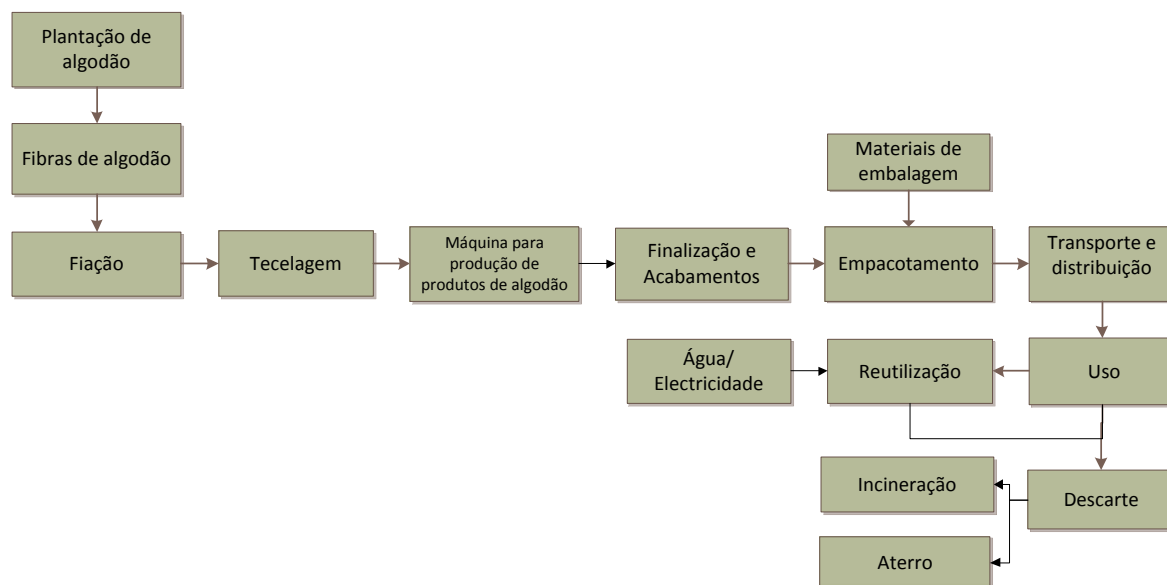


Figura 4.8 - Diagrama representativo do ciclo de vida relativo ao cenário 2.

#### 4.5.7 DADOS DE PROCESSOS

##### 4.5.7.1. DADOS GERAIS

A maioria dos processos utilizados, correspondem aos processos produtivos em causa, no entanto, algumas estimativas e aproximações foram feitas, como é o caso do processo de produção de papel *tissue*, o qual foi considerado semelhante ao processo Ecoinvent correspondente à produção de papel de jornal.

##### 4.5.7.2. ESFORÇO DE TRANSPORTE

Para a determinação do esforço de transporte, foram utilizadas as equações descritas na secção anterior, nomeadamente, as Eq. 3.1, Eq. 3.2, Eq. 3.3 e Eq. 3.4. As distâncias percorridas admitidas no presente caso de estudo encontram-se discriminadas no Anexo C.

#### 4.5.7.3. PRESSUPOSTOS DO ESTUDO

No cenário 2 não foi considerado o acondicionamento dos materiais em paletes, mas apenas em caixas de cartão. Ainda neste cenário, foi admitido um número de reutilizações do bem em causa, de 50 vezes.

Assim como no caso de estudo anterior, determinados parâmetros utilizados nos cálculos foram obtidos a partir de pesagem de alguns componentes (guardanapo de papel, e respectiva embalagem de plástico e guardanapo de pano), a partir de produtos comerciais encontrados no mercado local.

Em relação ao destino final considerado, foi admitida a incineração para os dois cenários, por uma questão de facilidade de comparação.

## 4.6 PROCESSOS RELATIVOS AO CENÁRIO 1

### 4.6.1 SERVIÇO DE BEM-ESTAR DE USO DE GUARDANAPOS À MESA (14000)

Este processo (ver Tabela 4.2) foi criado para definir a satisfação de uma necessidade de bem-estar a partir do uso de guardanapos de papel *tissue* à mesa. Fazem parte deste processo, os sub-processos correspondentes à produção de guardanapos de papel (processo 14001), empacotamento e distribuição (processo 14002) e gestão de resíduos (processo 14003).

**Tabela 4.2 - Descrição geral do processo 14000.**

	<b>includedProcesses</b>	<b>generalComment</b>
14000	Inclui todos os processos e transportes envolvidos na produção, enchimento e empacotamento, distribuição e descarte de guardanapos de papel, sendo a unidade funcional o serviço de bem-estar prestado pelos guardanapos.	O inventário refere-se à análise do ciclo de vida de 2 guardanapos de papel, desde a sua produção, até ao seu descarte final - incineração.

Na Tabela 4.3 encontra-se descrita a PC total do processo 14000, e de cada sub-processo. Os coeficientes tecnológicos associados aos sub-processos são equivalentes a 2 unidades, tendo sido considerado que são necessários 2 guardanapos de papel para oferecer um serviço de conforto equivalente ao de um guardanapo de pano.

**Tabela 4.3 - Pegada de carbono total do processo 14000.**

Unit Process Raw Data					Footprint (PC)
Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa (14000)					Total
<i>number10</i>	<i>name15</i>	<i>location16</i>	<i>unit17</i>	<i>g<sub>k</sub></i>	<i>kg CO<sub>2eq</sub>/unit</i>
14001	Produção de 1 guardanapo de mesa em papel <i>tissue</i>	PT	unit	2	0,0030
14002	Empacotamento e distribuição das embalagens de guardanapos	PT	unit	2	0,0013
14003	Gestão de resíduos	PT	unit	2	0,0012
<b>14000</b>	<b>Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0055</b>

#### 4.6.2 PRODUÇÃO DE 1 GUARDANAPO DE PAPEL TISSUE (14001)

O processo 14001 (Tabela 4.4) diz respeito à produção de 1 guardanapo de papel *tissue*. Na ausência de um processo Ecoinvent que traduzisse esta operação, foi considerado que o processo 1709 (*"Paper, newsprint, at plant"*) é semelhante ao processo de produção de papel *tissue*.

Admite-se que a produção e empacotamento são realizados no mesmo local, pelo que aqui não é contemplado nenhum esforço de transporte.

**Tabela 4.4 - Descrição geral do processo 14001.**

	includedProcesses	generalComment
14001	Este processo inclui a produção de 1 guardanapo de papel.	O inventário inclui todo o processo de produção de papel <i>tissue</i> .

Na Tabela 4.5 apresenta-se a pegada de carbono correspondente ao processo 14001. O  $x_{jk}$  correspondente ao processo Ecoinvent 1709 é igual ao peso de um guardanapo de papel ( $m=0,0018\text{kg}$ ).

**Tabela 4.5- Pegada de carbono total do processo 14001.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Produção de 1 guardanapo de papel <i>tissue</i> (14001)					Total
<i>number10</i>	<i>name15</i>	<i>location16</i>	<i>unit17</i>	<i>x<sub>jk</sub></i>	<i>kg CO<sub>2eq</sub>/unit</i>
1709	Paper, newsprint, at plant	CH	kg	0,0018	0,0015
<b>14001</b>	<b>Produção de 1 guardanapo de papel <i>tissue</i></b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0015</b>

#### 4.6.3 EMPACOTAMENTO E DISTRIBUIÇÃO (14002)

O processo 14002 (ver Tabela 4.6) diz respeito ao empacotamento e distribuição de embalagens de guardanapos de papel.

**Tabela 4.6 - Descrição geral do processo 14002.**

	includedProcesses	generalComment
14002	Este processo refere-se ao empacotamento em plástico (embalagem primária), em caixas de cartão (embalagem secundária) e em paletes (embalagem terciária) e a sua distribuição em alta e em baixa.	O inventário refere-se ao empacotamento e distribuição de 1 guardanapo de papel <i>tissue</i> .

Na Tabela 4.7 encontra-se a  $P_k$  relativa ao processo 14002.

No Anexo C1 encontram-se discriminados os parâmetros relativos às quantidades (em kg) e/ou volumes (em m<sup>3</sup>) dos principais materiais adquiridos para o empacotamento, utilizados para a determinação dos  $x_{jk}$  dos sub-processos aqui descritos.

As perdas das paletes de madeira são encaminhadas para incineração (0,25kg, correspondente a 1% de perdas), no entanto, dado a sua ínfima contribuição, este processo foi desprezado.

O esforço de transporte aqui contemplado foi obtido a partir das Eq. 3.2. (transporte de empilhadora) e Eq. 3.3. (transporte de materiais de embalagem para distribuição).

**Tabela 4.7 - Pegada de carbono total do processo 14002.**

Unit Process Raw Data					Footprint ( $P_k$ )
Empacotamento e distribuição das embalagens de guardanapos (14002)					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
631	electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,0002912	0,0002065
1834	polypropylene, granulate, at plant	RER	kg	0,0000305	0,0000602
1854	packaging film, LDPE, at plant	RER	kg	0,0000031	0,0000083
2526	EUR-flat pallet (palete)	RER	unit	0,0000001	0,0000008
1691	corrugated board, recycling, double wall, at plant	RER	kg	0,0002344	0,0002232
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de produção ao local de armazenamento)	CH	vkm	0,0001188	0,0000810
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de armazenamento ao local de distribuição - hipermercados)	CH	vkm	0,0001219	0,0000832
5743	operation, van < 3,5t (empilhadores)	RER	vkm	0,0000010	0,0000003
<b>14002</b>	<b>Empacotamento e distribuição das embalagens de guardanapos</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0006635</b>

#### 4.6.4 GESTÃO DE RESÍDUOS (14003)

O processo 14003 (ver Tabela 4.8) refere-se à gestão de resíduos, contendo o transporte de recolha de resíduos indiferenciados ao local de tratamento - incineradora (processo Ecoinvent 2141), a incineração do papel (processo Ecoinvent 2108) e a deposição de plástico PP em aterro, correspondente à embalagem de guardanapos (processo Ecoinvent 2233).

**Tabela 4.8 - Descrição geral do processo 14003.**

	includedProcesses	generalComment
14003	Inclui a fase de uso e gestão de resíduos.	Contêm a operação de incineração de papel, deposição da embalagem de PP em aterro e o transporte da colecta ao local de tratamento dos resíduos.

O esforço de transporte de colecta de resíduos é obtido a partir da Eq. 3.4., tendo o veículo uma capacidade mássica de 8 ton de RSU. Considera-se uma fracção de guardanapos nos resíduos urbanos indiferenciados/RSU de 2%., sendo admitido o peso de 1 guardanapo com humidade (0,0068kg) (ver Anexo C1 – Descarte de resíduos domésticos).

O peso do guardanapo com humidade (processo Ecoinvent 2108), foi obtido da seguinte forma:

$$x_{jk} [\text{kg}] = m_{\text{guardanapo}} [\text{kg}] + m_{\text{água}} [\text{kg}] = 0,0018 + 0,005 = 0,0068 \quad \text{Eq. 4.1}$$

Na Tabela 4.9 encontra-se descrita a  $P_k$  relativa ao processo de gestão de resíduos.

**Tabela 4.9 - Pegada de carbono total do processo 14003.**

Unit Process Raw Data					Footprint ( $P_k$ )
Gestão de resíduos (14003)					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{unit}$
2233	disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill	CH	kg	0,00305	0,00030
2141	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	tkm	0,00010	0,00013
2108	disposal, paper, 11,2% water, to municipal incineration	CH	kg	0,00682	0,00016
<b>14003</b>	<b>Gestão de resíduos</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,00059</b>

## 4.7 PROCESSOS RELATIVOS AO CENÁRIO 2

### 4.7.1 SERVIÇO DE BEM-ESTAR DE USO DE GUARDANAPOS À MESA (15000)

A exemplo dos casos anteriores foi criado o processo global com a referência 15000 (ver Tabela 4.10) para representar a produção de guardanapos de algodão (processo 15001), empacotamento e distribuição (processo 15002), uso e reutilização (processo 15003) e descarte final (processo 15004).

**Tabela 4.10 - Descrição geral do processo 15000.**

	includedProcesses	generalComment
15000	Inclui todos os processos e transportes envolvidos na produção, empacotamento, distribuição, uso e reutilização de 1 guardanapo de pano, sendo a unidade funcional o serviço de bem-estar prestado pelo guardanapo.	O inventário refere-se à análise do ciclo de vida de 1 guardanapo de pano, desde a sua produção, até ao seu descarte final - incineração.

Na Tabela 4.11 encontra-se descrita a pegada de carbono total relativa ao processo 15000, discriminada para cada sub-processo.

Os sub-processos 15001, 15002 e 15004 apresentam o mesmo coeficiente tecnológico (0,02), correspondente à taxa de reutilização do guardanapo de pano - 50x.

**Tabela 4.11 - Pegada de carbono total do processo 15000.**

Unit Process Raw Data					Footprint (PC)
Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa (15000)					Total
number10	name15	location16	unit17	g <sub>k</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
15001	Produção de guardanapos de mesa em algodão	PT	unit	0,02	0,03491
15002	Empacotamento e distribuição das embalagens de guardanapos.	PT	unit	0,02	0,00065
15003	Uso e reutilização	PT	unit	1	0,02645
15004	Descarte final de 1 guardanapo de pano	PT	unit	0,02	0,00019
<b>15000</b>	<b>Serviço de bem-estar de uso de guardanapos à mesa</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,06219</b>

### 4.7.2 PRODUÇÃO DE GUARDANAPOS DE MESA EM ALGODÃO (15001)

O processo 15001 (Tabela 4.12) inclui a produção de guardanapos de algodão, correspondente ao processo Ecoinvent 10177 (*“textile, woven cotton, at plant”*).



**Tabela 4.12 - Descrição geral do processo 15001.**

	includedProcesses	generalComment
15001	Este processo inclui a produção de 1 guardanapo de pano.	O inventário inclui todo o processo de produção de têxteis de algodão.

Na Tabela 4.13 encontra-se descrita a PC total relativa ao processo 15001. O peso de um guardanapo de pano por unidade funcional é igual a:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{UF}} \right] = m_{\text{guardanapo}} = 0,064 \quad \text{Eq. 4.2}$$

O consumo energético associado à operação da produção e acabamento do produto (guardanapos de algodão) foi estimado de acordo com a seguinte equação (ver Anexo C2):

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{UF}} \right] = \frac{500\text{W} \times 50 \text{ máquinas}_{\text{costura}} \times 8 \text{ h/d}}{20000 \text{ unidades}} \times \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 0,010 \quad \text{Eq. 4.3}$$

**Tabela 4.13 - Pegada de carbono total do processo 15001.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>k</sub> )
Produção de 1 guardanapo de pano (15001)					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
10177	textile, woven cotton, at plant	GLO	kg	0,0645	1,7384
631	Electricity, low voltage, production PT, at grid	PT	kWh	0,0100	0,0071
<b>15001</b>	<b>Produção de 1 guardanapo de pano</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>1,7455</b>

#### 4.7.3 EMPACOTAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DAS EMBALAGENS DE GUARDANAPOS (15002)

O processo 15002 (ver Tabela 4.14) corresponde ao empacotamento e distribuição dos guardanapos de pano, incluindo os transportes para o local de armazenamento e distribuição).

**Tabela 4.14 - Descrição geral do processo 15002.**

	includedProcesses	generalComment
15002	Este processo refere-se ao empacotamento dos guardanapos de pano e a sua distribuição em alta e em baixa.	O inventário refere-se ao empacotamento de 1 guardanapo de pano.

A  $P_k$  total relativa ao processo 15002 encontra-se descrita na Tabela 4.15.

O esforço de transporte de distribuição foi determinado a partir da Eq. 3.3., para uma distância desde o fabricante (Guimarães) ao local de armazenamento (Porto) de 55km e desde aqui aos locais de distribuição (Aveiro) de 78km, admitindo apenas o volume de uma caixa de cartão ( $0,2 \text{ m}^3$ ).

**Tabela 4.15 - Pegada de carbono total do processo 15002.**

Unit Process Raw Data					Footprint ( $P_k$ )
Empacotamento e distribuição (15002)					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg $CO_{2eq}/unit$
1691	Corrugated board, recycling, double wall, at plant	RER	kg	0,0150	0,0143
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de produção ao local de armazenamento)	CH	vkm	0,0110	0,0075
1916	operation, lorry 3.5-20t, fleet average, (para materiais de embalagem desde o local de armazenamento ao local de distribuição)	CH	vkm	0,0156	0,0106
<b>15002</b>	<b>Empacotamento e distribuição</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0324</b>

A quantidade de cartão utilizada no acondicionamento dos produtos (processo Ecoinvent 1691) foi determinada do seguinte modo:

$$x_{jk} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{UF}} \right] = \frac{m_{\text{caixa}} [\text{kg}]}{\frac{n.^{\circ} \text{unidades}}{\text{caixa}}} = \frac{1,2 [\text{kg}]}{80} = 0,015 \quad \text{Eq. 4.4}$$

#### 4.7.4 USO E REUTILIZAÇÃO (15003)

O processo 15003 (Tabela 4.16) refere-se à fase de uso e reutilização de 1 guardanapo de pano, incluindo as operações inerentes da lavagem (processos Ecoinvent 2288, 2003 e 631) e a engomagem (processo Ecoinvent 631).

A reutilização é efectuada 50 vezes, conforme descrito anteriormente.

**Tabela 4.16 - Descrição geral do processo 15003.**

	includedProcesses	generalComment
15003	Inclui a fase de uso e reutilização de 1 guardanapo de pano.	Contém a operação de incineração das perdas das paletes de madeira, o transporte da colecta ao local de tratamento dos resíduos.

Os *inputs* considerados nesta fase foram o consumo energético (processo Ecoinvent 631, “*electricity, low voltage, production PT, at grid*”), da água (processo Ecoinvent 2288, “*tap water, at user*”) e detergente para a lavagem (processo Ecoinvent 2003, “*soap, at plant*”). Além destes foi ainda incluído o consumo energético necessário à operação de engomagem. Todas as potências e consumos foram admitidos consoante dados informativos de modelos de electrodomésticos existentes no mercado.

Os coeficientes tecnológicos de cada sub-processo ( $x_{jk}$ ) foram determinados de acordo com os parâmetros relativos a esta fase, apresentados no Anexo C2. Adicionalmente, foi incluído um coeficiente que se traduz na fracção de 1 guardanapo sobre a capacidade mássica total admitida para a máquina de lavar.

A  $P_k$  total relativa a este processo encontra-se na Tabela 4.17.

**Tabela 4.17 - Pegada de carbono total do processo 15003.**

Unit Process Raw Data					Footprint ( $P_k$ )
Uso e reutilização (15003)					Total
number10	name15	location16	unit17	$x_{jk}$	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
2288	tap water, at user	RER	kg	0,4788	0,0002
631	electricity, low voltage, production PT, at grid (máquina de lavar)	PT	kWh	0,0110	0,0078
631	electricity, low voltage, production PT, at grid (ferro de engomar)	PT	kWh	0,0250	0,0177
2003	soap, at plant	RER	kg	0,0007	0,0008
<b>15003</b>	<b>Uso e reutilização</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,0264</b>

#### 4.7.5 DESCARTE FINAL DE 1 GUARDANAPO DE PANO (15004)

A fase de descarte final de guardanapos de pano (processo 15004) inclui a operação de incineração de têxteis (processo Ecoinvent 2141) e o respectivo esforço de transporte à incineradora (processo Ecoinvent 2124). Na Tabela 4.18 encontra-se a descrição geral deste processo.

**Tabela 4.18 - Descrição geral do processo 15004.**

	includedProcesses	generalComment
15004	Inclui a fase de descarte de 1 guardanapo de pano.	Contêm a operação de incineração de têxteis e o transporte da colecta ao local de tratamento dos resíduos – incineradora.

Foi considerada a operação de incineração de têxteis por ausência de alternativas de destino final na base de dados Ecoinvent e para facilitar a comparação de resultados entre cenários. O processo que melhor traduz esta operação é o processo 2124 (*“disposal, textiles, soiled, 25% water, to municipal incineration”*).

O esforço de transporte foi determinado a partir da **Eq. 3.4**, com uma distância do local de recolha de resíduos (Aveiro) à incineradora (a instalar na Mealhada) de 47km.

Na Tabela 4.19 apresenta-se a PC total relativa ao processo 15004, discriminada por cada sub-processo.

**Tabela 4.19- Pegada de carbono total do processo 15004.**

Unit Process Raw Data					Footprint (P <sub>i</sub> )
Descarte final de 1 guardanapo de pano (15004)					Total
number10	name15	location16	unit17	x <sub>jk</sub>	kg CO <sub>2eq</sub> /unit
2141	transport, municipal waste collection, lorry 21t	CH	tkm	0,000005	0,000001
2124	disposal, textiles, soiled, 25% water, to municipal incineration	CH	kg	0,064450	0,009368
<b>15004</b>	<b>Descarte de 1 guardanapo de pano</b>	<b>PT</b>	<b>unit</b>	<b>1</b>	<b>0,009369</b>

O esforço de transporte de recolha de RSU foi obtido do seguinte modo:

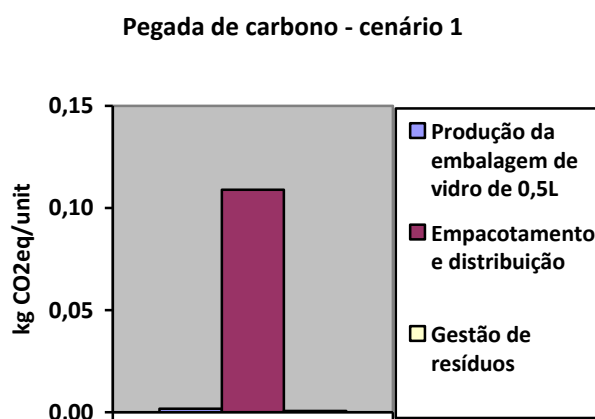
$$x_{jk} \left[ \frac{\text{tkm}}{\text{UF}} \right] = D [\text{km}] \times M [\text{ton}] \times f_t \left[ \frac{\text{ton têxteis}}{\text{ton RSU}} \right] \times f_g \left[ \frac{\text{ton guardanapos}}{\text{ton têxteis}} \right] \times \frac{1}{m_g} \left[ \frac{\text{unidade}}{\text{ton}} \right] \quad \text{Eq.4.5}$$



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

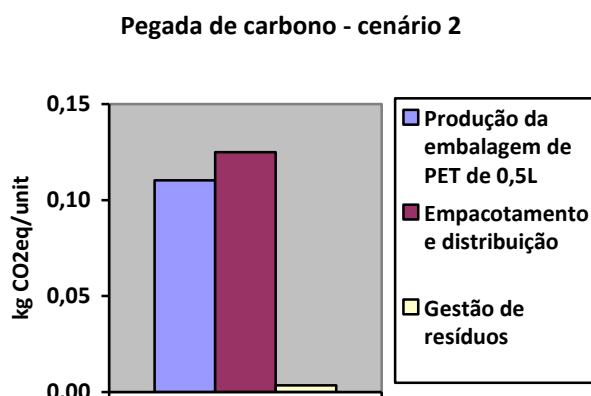
### 5.1. CASO DE ESTUDO 1 – DISPONIBILIDADE DE ÁGUA MINERAL

Na Figura 5.1 encontra-se representada a pegada de carbono por fase processual para cenário 1. Da figura podemos observar que a fase processual mais relevante em termos de pegada de carbono é o empacotamento e distribuição das garrafas de água mineral (0,1089 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), seguida da produção das embalagens de vidro (0,0017 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional). Este resultado deve-se ao facto da fase do empacotamento e distribuição incluir as operações necessárias ao retorno da embalagem, como a lavagem. A fase relativa à produção da embalagem apresenta um valor diminuto (0,0017 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), visto estar incluída a taxa de perdas no resultado (0,5%). É de salientar que a P<sub>k</sub> relativa à gestão de resíduos é desprezável, visto ser inferior a 1% da PC do processo.



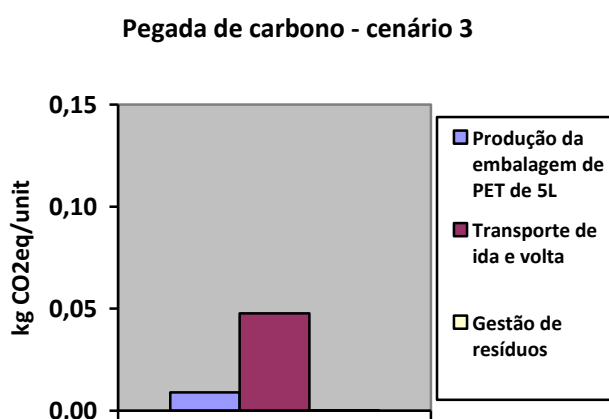
**Figura 5.1 - Representação da pegada de carbono por fase processual relativa ao cenário 1 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável.**

Relativamente ao cenário 2 (Figura 5.2), é também a fase do empacotamento e distribuição é a que tem maior impacto (0,1250 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), seguida da produção da embalagem de PET (0,1103 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional).



**Figura 5.2 - Representação da pegada de carbono por fase processual relativa ao cenário 2 – Disponibilidade para consumo de 0,5L de água mineral em garrafa de PET.**

No que respeita ao cenário 3 – sistema autónomo – a maior PC vai para a fase de transporte de ida e volta até à fonte natural (0,0477 kg CO<sub>2</sub>eq/unidade funcional), seguida da produção da embalagem (0,0090 kg CO<sub>2</sub>eq/unidade funcional). Este último valor é diminuto devido à taxa de reutilização da embalagem de PET (10 reutilizações). A P<sub>k</sub> relativo à fase de gestão de resíduos apresenta um valor pequeno (0,0001 kg CO<sub>2</sub>eq/unidade funcional), pelo que não é visível no gráfico da Figura 5.3. É de salientar que este cenário diz respeito ao inventário de 1 embalagem de PET de diferente capacidade das anteriores – 5L, no entanto, os resultados são apresentados com base na mesma unidade funcional - disponibilidade de 0,5L de água mineral.



**Figura 5.3 - Representação da pegada de carbono por fase processual relativa ao cenário 3 – Disponibilidade para consumo de 5L de água mineral em garrafão de PET.**

Comparando a pegada de carbono total dos três cenários, podemos constatar pela Figura 5.4 que é o cenário 2 o que apresenta maior incidência (0,2389 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), seguido do cenário 1 (0,1113 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional). O cenário 3 foi criado como um modelo alternativo, capaz de satisfazer a mesma necessidade – 0,5L de água, e em que se utilizasse uma fonte natural ao invés da tradicional compra de embalagens de água no supermercado. Portanto, o valor que se obteve, apenas nos traduz um resultado de PC no âmbito da reutilização, sendo legítimas, no entanto, as conclusões que daqui se retirem, nomeadamente, o facto deste cenário ser o que apresenta menor PC total (0,0568 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional).

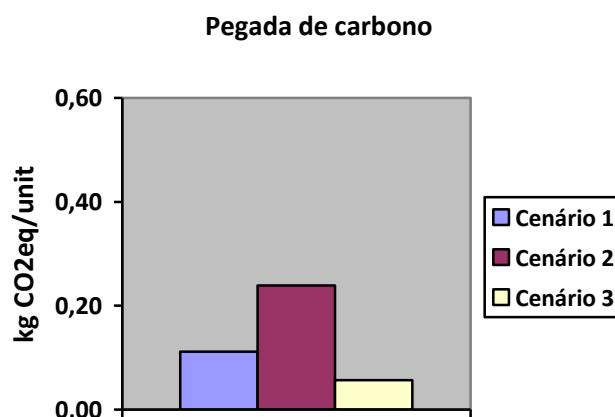


Figura 5.4 - Gráfico comparativo da pegada de carbono total dos 3 cenários.

## 5.2. CASO DE ESTUDO 2 – SERVIÇO DE BEM-ESTAR DE USO DE GUARDANAPOS À MESA

Na Figura 5.5 encontram-se representadas as pegadas de carbono respeitantes ao cenário 1 (serviço de bem-estar de uso de guardanapos de papel à mesa) e 2 (serviço de bem-estar de uso de guardanapos de pano à mesa) do segundo caso de estudo.

No que respeita ao cenário 1, a fase processual com maior PC é a fase correspondente ao empacotamento e distribuição (0,0013 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), seguida da produção dos guardanapos – 0,0030 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional. Note-se que alguns



valores são pequenos, visto traduzirem o inventário de 2 guardanapos (no cenário 1) e 1 guardanapo (no cenário 2).

Relativamente ao cenário 2, a maior PC é atribuída à produção dos guardanapos de mesa (0,03491 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional) e em segundo lugar, a fase do uso e reutilização (0,02645 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional). Este resultado deve-se ao facto da P<sub>j</sub> relativa ao processo Ecoinvent 10177 (produção de tecidos de têxteis) ser elevada, o que influenciou o resultado final, ainda que se tenha tido em conta a taxa de reutilização do bem. As operações inerentes à reutilização, determinaram o aumento da pegada de carbono para esta fase processual, e, consequentemente, da pegada total.

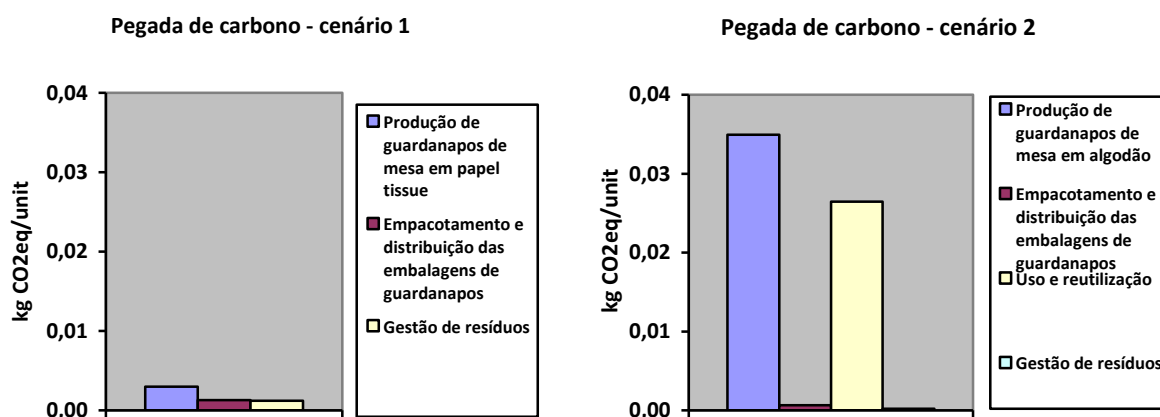
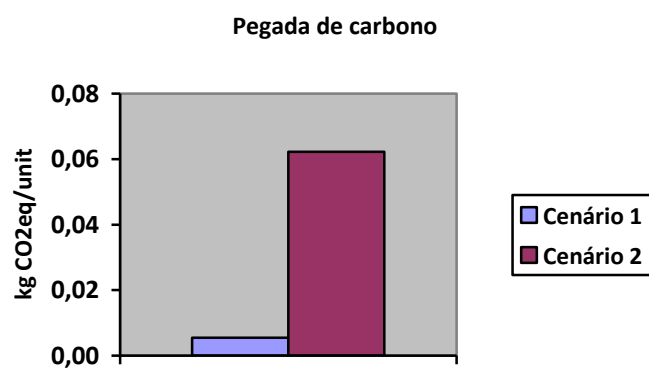


Figura 5.5 - Gráficos representativos da pegada de carbono do cenário 1 e 2.

Quando se comparam os dois cenários, como podemos constatar na

Figura 5.6, o cenário 2 é o que apresenta, maior pegada de carbono (0,0622 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), enquanto que o cenário 1 apresenta como PC, 0,0055 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional.



**Figura 5.6 - Gráfico comparativo da pegada de carbono total dos 2 cenários.**



## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

O objectivo inicial deste trabalho consistia na definição de um modelo de avaliação, que incluísse as metodologias de PC e ACV, aplicado a bens ou serviços, no âmbito da política dos 4R's. Concluído o trabalho, posso afirmar que foram atingidos os objectivos inicialmente propostos, através da aplicação de uma metodologia de ICV denominada ECO<sub>2</sub>R, podendo ser aplicado em diferentes casos de estudo, que não os aqui estudados.

Os casos de estudo aqui desenvolvidos mostraram-se adequados para a concretização deste trabalho, visto que, traduzem duas situações presentes no quotidiano de todos nós, traduzindo a ambiguidade das opções com que nos deparamos diariamente, seja na escolha do tipo de guardanapos que usamos à refeição, como o modo de adquirir a água que consumimos. O modelo de avaliação aqui desenvolvido pretende, portanto, auxiliar estas pequenas decisões, seja, através da sua aplicação no pré-produção, ou como *layout*, incluído na informação de origem dos produtos (acessível ao consumidor), assim como alguns produtos já vêm rotulados como produtos “amigos do ambiente” ou “recicláveis”, etc. Se pensarmos que pequenas decisões, com pequeno impacto ambiental, se multiplicam em grandes ordens de grandeza, talvez faça sentido começar por elas, visto que se encontram na base de todas as outras, contribuindo, significativamente, para o impacto que causamos no ambiente.

No que respeita aos resultados propriamente ditos, o sistema integrado (cenário 2) mostrou-se menos conveniente em relação ao sistema de consignação (cenário 1), já que apresenta uma PC superior (0,2389 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional), enquanto que o segundo apresenta uma PC de 0,1113 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional. Estes resultados, vão de encontro ao esperado, no entanto, não se descarta a possibilidade de ocorrência de eventuais erros na construção dos processos ou nas estimativas efectuadas, que possam ter influenciado os resultados. Não obstante, este resultado, ainda que, meramente, indicativo, mostra que as embalagens de vidro retornáveis constituem uma boa opção de acondicionamento, sendo o sistema de consignação favorável em termos de pegada de

carbono. É necessário, neste sentido, uma sensibilização que contrarie a actual tendência de desaparecimento deste tipo de embalagem.

A alternativa a estes dois sistemas, ainda que não se deixe de depender deles no final, e o sistema autónomo, acima já descrito, que se mostrou bastante apelativo em termos de pegada de carbono – 0,0568 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional. Este resultado, deve-se ao facto deste sistema incluir a reutilização das embalagens de PET, poupando-se recursos para o fabrico de novas embalagens. No entanto, é de salientar que não foi considerado o impacto associado a operações de lavagem das embalagens, assim como da depleção do recurso natural “água”.

Estudos relacionados com o caso de estudo 1 (disponibilidade de água mineral para consumo) foram realizados, como é o caso do estudo de ACV presente em (Ferrão, 1998). Trata-se de um estudo de ACV comparativo entre dois cenários distintos: consumo de água embalada em garrafas de tara retornável (TR) de 0,25cc de capacidade; consumo de água embalada em garrafas de tara perdida (TP) de 0,25cc de capacidade. Foi utilizado o *software* de análise “Sima-Pro”, tendo-se chegado à conclusão que as garrafas de TR apresentam menores incidências ambientais em todas as categorias de impacto ambiental consideradas (ex.: *smog*, energia, ozono, GHG, etc.) comparativamente às garrafas de TP.

No entanto, note-se que no presente trabalho foram avaliados diferentes materiais de embalagem (vidro e PET), sendo de esperar resultados divergentes do caso acima referido. Não obstante, é um importante indicativo de impacto ambiental, quando isolado o sistema de embalagem de vidro.

Referindo outro estudo ainda no âmbito das garrafas reutilizáveis *versus* garrafas descartáveis, tentou-se desenvolver uma teoria que auxiliasse a escolha entre os dois sistemas de embalagem. Desta feita, dentro da análise económica, diferentes parâmetros foram considerados, nomeadamente, o custo de cada uso das garrafas reutilizáveis, o número de usos e número de retornos por garrafa, a demanda de garrafas reutilizáveis e descartáveis, entre outros. As principais conclusões prendem-se com o facto dos custos de retorno serem elevados em relação aos das garrafas descartáveis e ainda com os poucos incentivos existentes aos embaladores, isto é, se estes tivessem de alguma forma a garantia de que os consumidores iriam retornar as garrafas reutilizáveis, a teoria desenvolvida sugere que teriam lucros mais elevados. (Grimes-Casey *et al.*, 2007)

É de salientar que este estudo é, sobretudo, de carácter económico, indo de encontro a uma análise custo-benefício, a qual não foi realizada no âmbito do presente trabalho.

No que respeita ao segundo caso de estudo, tínhamos duas alternativas para satisfazer a mesma necessidade – o uso de guardanapos à mesa: guardanapos de papel (*tissue*) e guardanapos de pano (algodão). Segundo os resultados obtidos, a segunda alternativa (cenário 2), apresentou-se menos conveniente (0,06219 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional) em relação à primeira (0,0055 kg CO<sub>2eq</sub>/unidade funcional). Este resultado deve-se ao facto da necessidade de utilização de recursos naturais e tecnológicos para concretizar as operações inerentes à sua reutilização (lavagem, engomagem). No entanto, a durabilidade do bem guardanapo de pano, visto que é passível de ser reutilizado um número significativo de vezes, vai, deste modo, contribuir para a diminuição da sua pegada de carbono total. Portanto, as fases associadas à sua produção, empacotamento e descarte final, são divididas pelo número de reutilizações, dado que, permitem a poupança de recursos que seriam utilizados para a manufactura de novos guardanapos. Deste modo, o número de vezes que o bem pode ser reutilizado acaba por “compensar” a longo prazo, o impacto associado a essas mesmas operações. Se em vez de admitirmos uma reutilização de 50 x do guardanapo de pano, admitíssemos o dobro das utilizações, o resultado seria mais próximo do cenário 1. Ou seja, os resultados obtidos reflectem apenas um indicador de impacte ambiente, estando sujeitos a variações derivadas de inúmeros factores, sendo um deles, o factor tempo.

Este trabalho, que incide na metodologia de Análise Ciclo de Vida, visa ser um contributo para os agentes decisores, onde se incluem os governos, a indústria e os próprios consumidores, esperando-se que se considerem as consequências ambientais das suas decisões.

Espera-se ainda que, aumentando a informação de carácter ambiental de bens ou serviços, se aumente a consciência pública e individual acerca das questões ambientais. É claro, que os esforços devem principiar pelo consumidor, visto ser este o elemento-chave de todo este processo, sendo necessária a sua aceitação no que respeita a medidas ambientais, para além de que deve partir dele os conceitos de *life-cycle thinking* e *eco-consumo*. Apenas neste sentido podemos atingir modos de vida mais sustentáveis, que reflectam a relação que estabelecemos com o meio ambiente.

Este trabalho é inovador, dada a inexistência de estudos semelhantes aplicada a bens ou serviços e, sobretudo, através do modelo de cálculo utilizado – o ECO<sub>2</sub>R.

## **6.2. LIMITAÇÕES DO TRABALHO**

Ao longo deste trabalho foram várias as dificuldades encontradas, nomeadamente, no que respeita à ausência de informação específica para o nosso país, tendo havido a necessidade de adoptar processos de origem de países diferentes. A base de dados utilizada – Ecoinvent – apresenta lacunas de informação, com ênfase nos inventários relativos a processos de gestão de determinadas fileiras de resíduos, tendo sido estimados os impactos associados a certas operações de gestão, como foi o caso da reciclagem do PET.

Aqui sublinha-se a necessidade a curto-médio prazo da criação de uma base de dados ao estilo da que foi utilizada, mas inteiramente nacional, apenas com informação específica inventariada no nosso país, para que fosse possível num futuro próximo a realização de estudos semelhantes, mais aprofundados e mais próximos da realidade.

A metodologia utilizada apresenta vantagens e desvantagens. As desvantagens prendem-se com o facto de ser necessária uma constante e progressiva actualização e aprimoramento da folha de cálculo, dada a quantidade extensa de variáveis introduzidas e a ligação directa entre elas. Tem de existir ainda um cuidado adicional com as unidades dos processos utilizados, dado que um pequeno erro, pode comprometer todo o cálculo. Esta metodologia se permite, por um lado, conhecer todos os procedimentos e cálculos para se chegar ao resultado, por outro, adiciona-se uma margem de erro/incerteza proveniente do seu carácter manual ao invés de automático (como se verifica noutros softwares existentes como é o caso do programa “Umberto” ou “Sima-Pro”).

Este método foi utilizado para o estudo da pegada de carbono associada a diferentes produtos, tendo-se concluído que, satisfaz razoavelmente, os requisitos necessários aos procedimentos inerentes, no entanto, não constitui uma metodologia 100% eficaz e segura, assim como se questiona a sua versatilidade quando aplicada a diferentes contextos e abordagens. Em suma, não deve ser o estudo que se adapta à metodologia, mas sim esta ao objecto de estudo, o que não foi aqui totalmente verificado. Isto significa que determinados parâmetros iniciais foram estabelecidos de forma a ser possível a sua modificação à medida que a informação mais fidedigna é conhecida (dados processuais) e coerência nesta metodologia, caso contrário teriam de ser excluídos, de forma a não impedir o seu prosseguimento.

Os resultados obtidos, após a análise efectuada e tendo em consideração tudo o que já foi dito, constituem uma fonte de indicadores úteis para estudos neste âmbito, que auxiliam decisões quer por parte dos produtores, como dos consumidores, e ainda dos operadores de gestão de resíduos. No entanto, não podem ser tidos como resultados totalmente seguros e reais, visto estarem associados, inevitavelmente, a uma margem de erro.

### **6.3. SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO**

No âmbito do trabalho realizado, seria interessante aprofundar determinados aspectos, que não foram abordados aqui, como é o caso da influência do número de reutilizações de um bem na sua pegada de carbono.

Todos os parâmetros mencionados atrás não são fáceis de mensurar, visto que, dependem de inúmeros factores e variáveis, no entanto, seria interessante encontrar uma metodologia que permita incluir *multi-inputs* e *multi-outputs* no cálculo da pegada de carbono, de forma a poder ser aplicada em diferentes produtos ou serviços, constituindo uma ferramenta versátil para este tipo de estudos. Seria, deste modo, importante conhecer os efeitos das variáveis referidas em cada um dos cenários possíveis de descarte final – incineração, valorização orgânica, aterro, reutilização, o que iria decerto complementar os resultados obtidos.

Seria ainda útil obter resultados em termos de pegada de carbono, através de diferentes *softwares* de cálculo e/ou base de dados, com o intuito de comparar a exactidão de cada um, avaliando o seu desempenho para vários casos de estudo.





## Referências bibliográficas

Bessant, J.; Caffyn, S.; Gallagher, M. (2001) - *An evolutionary model of continuous improvement behaviour*. Technovation. ISSN 0166-4972. Vol. 21, n.º 2, p. 67-77.

BSI, Guide to PAS 2050, How to assess the carbon footprint of goods and services, BSI – British Standards (2008), Carbon Trust, DEFRA, UK.

COM (2005), *Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité económico e social europeu e ao comité das regiões - Avançar para uma utilização sustentável dos recursos: Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos*. Comissão das Comunidades Europeias (COM), Bruxelas.

COM (2001), Livro Verde sobre a política integrada relativa aos produtos. Comissão das Comunidades Europeias, Bruxelas.

EPA (2006), Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Assessment: Principles and Practice. Environmental Protection Agency, Ohio.

Ferrão, P. (1998) - Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia, IST Press, Lisboa.

Grimes-Casey, H.G.; Seager, T.P. [et al.] (2007) - A game theory framework for cooperative management of refillable and disposable bottle lifecycles. Journal of Cleaner Production. ISSN 0959-6526. Vol. 15, n.º 17, p. 1618-1627.

Guinée, J.B. (2001), Life Cycle Assessment, An operational guide to the ISO standards. Centre of Environmental Science, Leiden.

Hauschild, M.; Jeswiet, J.; Alting, L. (2005) - From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. CIRP Annals - Manufacturing Technology. ISSN 0007-8506. Vol. 54, n.º 2, p. 1-21.

Heiskanen, E. (1999) - Every product casts a shadow: but can we see it, and can we act on it? *Environmental Science & Policy*. ISSN 1462-9011. Vol. 2, n.º 1, p. 61-74.

Horrocks, A.R. (1996), *Recycling Textile and Plastic Waste*, Woodhead Publishing Limited, England.

Humbert, S.; Loerincik, Y. [et al.] (2009) - Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). *Journal of Cleaner Production*. ISSN 0959-6526. Vol. 17, n.º 15, p. 1351-1358.

Hurd, D.J. (2001), *Best Practices and Industry Standards in PET Plastic Recycling*, Washington State Department of Community, T. A. E.

Kuta, C.C.; Koch, D.G. [et al.] (1995) - Improvement of products and packaging through the use of life cycle analysis. *Resources, Conservation and Recycling*. ISSN 0921-3449. Vol. 14, n.º 3-4, p. 185-198.

*Life Cycle Inventories for Packagings - Volume I*, (1998), Environmental Series N.º 250/I, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape, Berne.

*Life Cycle Inventories for Packagings - Volume II*, (1998), Environmental Series n.º 250/II, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Berne.

Lopes, E.; Dias, A. [et al.] (2003) - Application of life cycle assessment to the Portuguese pulp and paper industry. *Journal of Cleaner Production*. ISSN 0959-6526. Vol. 11, n.º 1, p. 51-59.

Matos, M. A. A., (2007). "Capítulo 6 – Análise ciclo de vida", em *Técnicas de Gestão de Resíduos*, apontamentos teóricos da disciplina, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.

Ministério do Ambiente, Decreto-Lei 178/2006 de 5 de Setembro, relativo à lei-quadro da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2006/12/CE e a Directiva n.º 91/689/CEE.

Ministério do Ambiente, Decreto-Lei 86/90 de 16 de Março, relativo à gestão de recursos geológicos.

Ministério do Ambiente, Decreto-Lei 94/90 de 16 de Março, relativo ao regulamento do uso e gestão das águas minerais.

Monte, M.C.; Fuente, E. [et al.] (2009) - Waste management from pulp and paper production in the European Union. Waste Management. ISSN 0956-053X. Vol. 29, n.º 1, p. 293-308.

NP EN ISO 14040:1997. “Gestão Ambiental. Avaliação de Ciclo de Vida. Princípios e enquadramento.” Versão Portuguesa, Norma Europeia. 2005. ISO International Organization for Standardization.

PERSU II (2007), Plano Estratégico para os resíduos sólidos urbanos, 2007-2016, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do território e do Desenvolvimento Regional.

Portaria 209/2004 de 3 de Março, relativa à Lista Europeia de Resíduos e às operações de gestão de resíduos.

P.R. White, M.F.P.H. (1995) - Integrated solid waste management, a lifecycle inventory, Blackie Academic & Professional.

PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION – PAS 2050:2008, Specification for the assessment of the cycle greenhouse gas emissions of goods and services, BSI – British Standards, Carbon Trust, DEFRA, (2008), UK.

Quintela, A. (2005) - Hidráulica, 9ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian.

Rainbow, A.K.M. (1994), Why Recycle, A.A. Balkema, Birmingham.

Roy, P.; Nei, D. [et al.] (2009) - A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of Food Engineering. ISSN 0260-8774. Vol. 90, n.º 1, p. 1-10.

Schumacher, E.F. (1999) - Small is beautiful, Hartley & Marks Publishers Inc..

Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S.A. (1993) - Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues, MacGraw-Hill.

Washington State Department of Community, T.A.E.D.S.C.W.C. (2001), *Best Practices and Industry Standards in PET Plastic Recycling*, Best Practices and Industry Standards in PET Plastic Recycling.

### **Sites consultados:**

APA – Agência Portuguesa do Ambiente, <http://www.apambiente.pt>, 2/02/2010

ASPAPEL - Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón, <http://www.aspapel.es/>, 17/03/2010

APIAM – Associação Portuguesa dos Industriais de Água Mineral e de Nascente, <http://www.apiam.pt/>, 15/03/2010

APIP – Associação Portuguesa da Indústria de Plásticos, <http://www.apip.pt>, 05/04/2010

AFCAL - Associação dos Fabricantes de Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos, <http://www.afcal.pt>, 14/04/2010

BA – Fábrica de Vidros Barbosa & Almeida, S.A., <http://www.bavidros.pt>, 25/02/2010

CELPA – Associação Nacional da Indústria Papeleira, <http://www.celipa.pt> , 06/04/2010

CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, <http://www.ctcv.pt>, 16/03/2010

ECOINVENT - Swiss Centre for Life Cycle Inventories, <http://www.ecoinvent.ch/>, 24/05/2010

EFBW – European Federation of Bottled Waters, <http://www.efbw.eu>, 04/03/2010

EMBAR – Associação Nacional de Recuperação e Reciclagem de Embalagens de Madeira, <http://www.embar.pt>, 07/03/2010

EMBOPAR - Embalagens de Portugal, SGPS, SA, <http://www.embopar.pt>, 08/03/2010

EPA – Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/>, 10/04/2010

ERSUC – Resíduos Sólidos do Centro, S.A., <http://www.ersuc.pt>, 12/03/2010

EUROSTAT – European Comission, <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> , 15/04/2010

GPI – Glass Packaging Institute, <http://gpi.org.com>, 04/03/2010

INTERFILEIRAS – Associação Nacional para a Recuperação, Gestão e Valorização de Resíduos de Embalagens, <http://www.interfileiras.org>, 08/03/2010

IPQ – Instituto Português da Qualidade, <http://www.ipq.pt>, 17/03/2010

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Changes, <http://www.ipcc.ch/>, 21/03/2010

NAPCOR - National Association for PET Container Resources, <http://www.napcor.com/>, 16/03/2010

NETRESÍDUOS – Portal da NetResíduos, <http://www.netresiduos.com/pt/>, 23/03/2010

Paperonline – European Paper & Packaging Industries, <http://www.paperonline.org/>, 15/04/2010

RECIPAC - Associação Nacional de Recuperação e Reciclagem de Papel e Cartão, <http://www.recipac.pt>, 15/03/2010

SAINT-GOBAIN – Saint-Gobain Glass Portugal, Vidro Plano S.A, <http://pt.saint-gobain-glass.com>, 06/03/2010

SIEMENS - <http://www.siemens.com.br>, 04/04/2010

VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A., <http://www.valorsul.pt>, 14/04/2010

VIAMICHELIN – ViaMichelin, <http://www.viamichelin.pt/>, 17/05/2020

VIDROCICLO – Reciclagem de Resíduos Lda, <http://vidrociclo.pt/>, 13/05/2010



## Anexo A – Especificações gerais dos processos Ecoinvent v2.1.

### A1 – Produção de vidro branco de embalagem

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
packaging glass, white, at plant			
828	includedProcesses	generalComment	
	This module includes the material and energy efforts for: preparation and sorting of cullets, melting, forming of glass containers, cooling down, packaging and palleting until glass containers are ready for transport to customer. Transports for the input material are included as well as direct emissions to air, waste water and waste.	A production site with sorting capacity of 100kton per year and a total life span of 50 years is assumed.	0,896

### A2 – Produção de composto vedante de polissulfureto

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
polysulphide, sealing compound, at plant			
7134	includedProcesses	generalComment	1,525
	The dataset describes the raw materials and processes required to produce a polysulphide sealing compound. Included is heat, electricity, and the infrastructure, but no extra transport activities apart from the ones related to the raw materials. Input materials are crushed limestone (filling material), chemicals, a hardening paste and rigid foam (polyurethane)."	This dataset is primarily used in the glazing production."	

### A3 – Produção de água para abastecimento

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
Tap water, production			
2288	includedProcesses	generalComment	
	Infrastructure and energy use for water treatment and transportation to the end user. No emissions from water treatment."	Rough estimation investigated for CH and data for energy use in DE."	3,1E- <sup>4</sup>



## A4 – Produção de hidróxido de sódio

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant			
336	includedProcesses	generalComment	1,091
	Process establishing an average European sodium hydroxide production from the three different electrolysis cell technologies (mercury, diaphragm, membrane)"	Module that establishes only an average of the different technologies used for sodium hydroxide production - thus no process-specific emissions are included into this dataset."	

## A5 – Processo de extrusão do alumínio

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
extrusion, aluminium			
1169	includedProcesses	generalComment	0,998
	All the process steps, which can be attributed to semi-fabrication (sawing, scalping, preheating, extrusion, stretching, sawing, ageing and packaging), are included. Does not include the material beeing extruded, only the amount of scrap lost in waste is balanced as primary aluminium input. Includes the transport of the materials to the plant, but does not include the transport of the product to the customer	Heated aluminium is forced through one or more dies under extreme force to produce the desired shape. A great number of different shapes, and therefore possible applications, can be achieved by extrusion of aluminium."	

## A6 – Produção de papel LWC

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
paper, woodcontaining, LWC, at plant			
1715	includedProcesses	generalComment	1,389
	This module includes the European production of LWC paper - including transports to paper mill, wood handling, mechanical pulping and bleaching, deinking of waste paper, paper production, energy production on-site and internal waste water treatment. Not included is the transport of waste paper to the mill, as this is already included in the used waste paper datasets.	-	

**A7 – Produção de cartão canelado, de fibra reciclada, de duas folhas**

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant			
1691	includedProcesses	generalComment	
	This module includes the production of corrugated board out of the corrugated base papers. The following steps are included: energy production, corrugated board production itself, waste water treatment.	(1,2,1,1,3,2); from average European data for board & box production (FEFCO)+D55	0,952

**A8 – Produção de paletes de madeira**

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /unit]
EUR-flat pallet			
2526	includedProcesses	generalComment	6,129
	Includes only the materials and not the process of construction. The examined system is from gate to gate and as in most cases the pallets have a long life-span the waste treatment is not included. It must be included in the packing module.	Module includes only materials (no production process) and should only be used for the packing and transportation of products.	

**A9 – Produção de filme LDPE**

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
packaging film, LDPE, at plant			
1854	includedProcesses	generalComment	2,687
	This process contains the plastic amount and the transport of the plastic from the production site to the converting site as well as the dataset "extrusion, plastic film"	Example process for the utilization of the different converting modules in the database.	

**A10 – Produção de electricidade de baixa voltagem, em Portugal**

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kWh]
electricity, low voltage, production PT, at grid			
631	includedProcesses	generalComment	0,709
	Included are the electricity production in Portugal, the transmission network as well as direct SF6-emissions to air. Electricity losses during low-voltage transmission and transformation from medium-voltage are accounted for.	This dataset describes the transformation from medium to low voltage as well as the distribution of electricity at low voltage.	

### A11 – Veículo de transporte, de capacidade de 3,5-20t

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /vkm]
operation, lorry 3,5-20t, fleet average			
1916	includedProcesses	generalComment	0,682
	Fuel consumption is included. Direct airborne emissions of gaseous substances, particulate matters and heavy metals are accounted for. Particulate emissions comprise exhaust- and abrasions emissions. Heavy metal emissions to soil and water caused by tyre abrasion are included as well.	Average data for the operation of an average Swiss lorry (fleet average) in the year 2005, comprising various emission technologies.	

### A12 – Veículo de transporte, de capacidade <3,5t

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /vkm]
operation, van < 3,5t			
5743	includedProcesses	generalComment	0,283
	Fuel consumption is included. Direct airborne emissions of gaseous substances, particulate matters and heavy metals are accounted for. Particulate emissions comprise exhaust- and abrasions emissions. Hydrocarbon emissions include evaporation. Heavy metal emissions to soil and water caused by tyre abrasion are accounted for.	Average data for the operation of an average van (fleet average) in Europe in the year 2005, comprising various emission technologies	

### A13 – Deposição de alumínio com 0% de água, em aterro sanitário.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill			
2215	includedProcesses	generalComment	0,021
	Waste-specific short-term emissions to air via landfill gas incineration and landfill leachate. Burdens from treatment of short-term leachate (0-100a) in wastewater treatment plant (including WWTP sludge disposal in municipal incinerator). Long-term emissions from landfill to groundwater (after base lining failure)."	Inventoried waste contains 100% Alu in MSW; . waste composition (wet, in ppm): H2O n.a.; O n.a.; H n.a.; C n.a.; S n.a.; N n.a.; P n.a.; B n.a.; Cl 4825; Br n.a.; F n.a.; I n.a.; Ag n.a.; As n.a.; Ba n.a.; Cd 3; Co n.a.; Cr n.a.; Cu 8.5; Hg n.a.; Mn n.a.; Mo n.a.; Ni n.a.; Pb 25.5; Sb n.a.; Se n.a.; Sn n.a.; V n.a.; Zn 29; Be n.a.; Sc n.a.; Sr n.a.; Ti n.a.; Tl n.a.; W n.a.; Si n.a.; Fe n.a.; Ca n.a.; Al 995110; K n.a.; Mg n.a.; Na n.a.; Share of carbon in waste that is biogenic 60.4%. Overall degradability of waste during 100 years: 50%."	

## A14 – Deposição de madeira não-tratada, com 20% de água, para incineração municipal.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration			
2130	includedProcesses	generalComment	0,012
	waste-specific air and water emissions from incineration, auxiliary material consumption for flue gas cleaning. Short-term emissions to river water and long-term emisitions to ground water from slag compartment (from bottom slag) and residual material landfill (from solidified fly ashes and scrubber slugde). Process energy demands for MSWI.	Inventoried waste contains 100% natural wood; .waste composition (wet, in ppm): upper heating value 15.36 MJ/kg; lower heating value 13.99 MJ/kg; H2O 174080; O 372180; H 50163; C 401470; S 125.51; N 986.98; P 108.97; B 2.1107; Cl 330.95; Br n.a.; F 21.106; I n.a.; Ag n.a.; As 0.42213; Ba n.a.; Cd 0.20051; Co 0.086772; Cr 0.65782; Cu 4.1482; Hg 0.31976; Mn 53.118; Mo 0.8302; Ni 0.55581; Pb 27.868; Sb n.a.; Se n.a.; Sn n.a.; V n.a.; Zn 17.807; Be n.a.; Sc n.a.; Sr n.a.; Ti n.a.; Tl n.a.; W n.a.; Si n.a.; Fe 15.479; Ca 130.89; Al 6.3322; K 65.412; Mg 197.56; Na 14.071; Share of carbon in waste that is biogenic 100%. Share of iron in waste that is metallic/recyclable 0%. Net energy produced in MSWI: 1.3MJ/kg waste electric energy and 2.74MJ/kg waste thermal energy. Allocation of energy production: no substitution or expansion. Total burden allocated to waste disposal function of MSWI.One kg of this waste produces 0.004126 kg of slag and 0.001698 kg of residues, which are landfilled. Additional solidification with 0.0006793 kg of cement.	

## A15 – Reciclagem do papel.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
paper, recycling, no deinking, at plant			
1713	includedProcesses	generalComment	0,834
	This module includes the European recyclin paper production without a deinking step - including pulping of waste paper, paper production, energy production on-site, internal waste water treatment and transports of the auxillaries to the paper mill. Not included is the transport of waste paper to the mill, as this is already included in the used waste paper datasets.	-	

## A16 – Produção de granulado de PET.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant			
1828	includedProcesses	generalComment	2,884
	Average data for the production of bottle grade PET out of ethylene glycol, PTA and amorphous PET. The data include material and energy input, waste as well as air and water emissions. Missing sum parameters to water (DOC, TOC, COD), transport and infrastructure are estimated."	Data are based on the average unit process from the Eco-profiles of the European plastics industry	

### A17 – Processo de moldagem por sopro em plásticos.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
Blow moulding			
1848	includedProcesses	generalComment	1,230
	This process contains the auxillaries and energy demand for the mentioned conversion process of plastics. The converted amount of plastics is NOT included into the dataset."	1 kg of this process equals 0.997 kg of blow moulded plastics (e.g. bottles)	

### A18 – Produção de tecidos de algodão.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
textile, woven cotton, at plant			
10177	includedProcesses	generalComment	
	This process links the processes yarn production and weaving	Inventory refers to 1 kg woven textile	26,973

### A19 – Produção de detergente.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
Soap, at plant			
2003	includedProcesses	generalComment	1,086
	This module contains material and energy input, production of waste and emissions for the production of soap out of fatty acids from palm and coconut oil. Transports and infrastructure have been estimated. No water consumption included."	data based on the ECOSOL study of the European surfactant industry. Allocations in <i>multioutput</i> processes were made, using the relative mass outputs of products.	

### A20 – Veículo de recolha de resíduos municipais.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /tkm]
transport, municipal waste collection, lorry 21t			
2141	includedProcesses	generalComment	
	Diesel fuel consumption, air emissions from fuel combustion for Stop&Go driving, tyre abrasion, brake lining abrasion, road abrasion and re-suspended road dust	based on a vehicle lifetime of 540'000 vehicle-kilometers	1,306

## A21 – Descarte de têxteis, com 25% de humidade para incineração municipal.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
disposal, textiles, soiled, 25% water, to municipal incineration			
2124	includedProcesses	generalComment	0,145
	waste-specific air and water emissions from incineration, auxiliary material consumption for flue gas cleaning. Short-term emissions to river water and long-term emisisions to ground water from slag compartment (from bottom slag) and residual material landfill (from solidified fly ashes and scrubber slugde). Process energy demands for MSWI."	Inventoried waste contains 100% soiled textiles; . waste composition (wet, in ppm): upper heating value 19.78 MJ/kg; lower heating value 14.45 MJ/kg; H2O 229680; O 287940; H 49839; C 345150; S 14523; N 70864; P 37.5; B n.a.; Cl 1791.3; Br n.a.; F n.a.; I n.a.; Ag n.a.; As 0.06; Ba n.a.; Cd 0.04; Co n.a.; Cr 0.56; Cu 44.639; Hg 0.00006; Mn n.a.; Mo n.a.; Ni 0.16; Pb 25.603; Sb n.a.; Se n.a.; Sn n.a.; V n.a.; Zn 105.08; Be n.a.; Sc n.a.; Sr n.a.; Ti n.a.; Tl 0.03; W n.a.; Si n.a.; Fe n.a.; Ca n.a.; Al n.a.; K n.a.; Mg n.a.; Na n.a.; Share of carbon in waste that is biogenic 100%. Share of iron in waste that is metallic/recyclable 0%. Net energy produced in MSWI: 1.36MJ/kg waste electric energy and 2.86MJ/kg waste thermal energy Allocation of energy production: no substitution or expansion. Total burden allocated to waste disposal function of MSWI. One kg of this waste produces 0.0261 kg of slag and 0.01494 kg of residues, which are landfilled. Additional solidification with 0.005975 kg of cement." -	

## A22 – Produção de papel de jornal.

Unit Process Raw Data			P <sub>j</sub> [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
Paper, newsprint, at plant			
1709	includedProcesses	generalComment	0,824
	This module includes the production of newsprint paper in Switzerland - including transports to paper mill, wood handling, mechanical pulping and bleaching, deinking of waste paper, paper production, energy production on-site and internal waste water treatment. Not included is the transport of waste paper to the mill, as this is already included in the used waste paper datasets.	-	

### A23 – Descarte de papel, com 11,2% de humidade, para incineração municipal.

Unit Process Raw Data			Pj [kg CO2eq/kg j]
disposal, paper, 11.2% water, to municipal incineration"			
	includedProcesses	generalComment	
2108	waste-specific air and water emissions from incineration, auxiliary material consumption for flue gas cleaning. Short-term emissions to river water and long-term emissions to ground water from slag compartment and residual material landfill (from solidified fly ashes and scrubber sludge). Process energy demands for MSWI.	Inventoried waste contains 100% average paper; . waste composition (wet, in ppm): upper heating value 16.61 MJ/kg; lower heating value 14.12 MJ/kg; H2O 110830; O 378670; H 53852; C 404000; S 1406.7; N 3756.6; P 112.95; B 17.19; Cl 1837.5; Br n.a.; F 19.468; I n.a.; Ag 0.047733; As 2.0485; Ba 114.24; Cd 1.6629; Co 0.7359; Cr 14.461; Cu 60.893; Hg 0.13902; Mn 40.221; Mo 4.2976; Ni 9.4431; Pb 80.374; Sb 0.70911; Se 2.5786; Sn n.a.; V n.a.; Zn 124.8; Be 0.97413; Sc n.a.; Sr 58.276; Ti 171.9; Tl 1.719; W n.a.; Si 21255; Fe 1188.4; Ca 3438.1; Al 12391; K 1327.5; Mg 4297.6; Na 918.83; Share of carbon in waste that is biogenic 100%. Share of iron in waste that is metallic/recyclable 0%. Net energy produced in MSWI: 1.32MJ/kg waste electric energy and 2.77MJ/kg waste thermal energy Allocation of energy production: no substitution or expansion. Total burden allocated to waste disposal function of MSWI. One kg of this waste produces 0.07875 kg of slag and 0.01249 kg of residues, which are landfilled. Additional solidification with 0.004996 kg of cement."	0,024

### A24 – Produção de plástico polietileno HDPE.

Unit Process Raw Data			Pj [kg CO2eq/kg j]
polyethylene, HDPE, granulate, at plant			
1829	includedProcesses	generalComment	1,929
	Aggregated data for all processes from raw material extraction until delivery at plant"	Data are from the Eco-profiles of the European plastics industry (PlasticsEurope). Not included are the values reported for: recyclable wastes, amount of air / N2 / O2 consumed, unspecified metal emission to air and to water, mercaptan emission to air, unspecified CFC/HCFC emission to air, dioxin to water. The amount of "sulphur (bonded)" is assumed to be included into the amount of raw oil.	

### A25 – Produção de plástico polipropileno granulado.

Unit Process Raw Data			Pj [kg CO <sub>2</sub> eq/kg j]
polypropylene, granulate, at plant			
1834	includedProcesses	generalComment	1,973
	Aggregated data for all processes from raw material extraction until delivery at plant"	Data are from the Eco-profiles of the European plastics industry (PlasticsEurope). Not included are the values reported for: recyclable wastes, amount of air / N2 / O2 consumed, unspecified metal emission to air and to water, mercaptan emission to air, unspecified CFC/HCFC emission to air, dioxin to water. The amount of "sulphur (bonded)" is assumed to be included into the amount of raw oil..	

**A26 – Veículo de passageiros.**

Unit Process Raw Data			Pj [kg CO <sub>2eq</sub> /km]
Operation, passenger car			
1934	includedProcesses	generalComment	
	Fuel consumption is included. Direct airborne emissions of gaseous substances, particulate matters and heavy metals are accounted for. Particulate emissions comprise exhaust- and abrasions emissions. Hydrocarbon emissions include evaporation. Heavy metal emissions to soil and water caused by tyre abrasion are accounted for." "	Average data for the operation of an average passenger car (fleet average) in Europe in the year 2005, comprising various emission technologies."	0,239

**A27 – Deposição de polipropileno com 15.9% de humidade, em aterro.**

Unit Process Raw Data			Pj [kg CO <sub>2eq</sub> /kg j]
Disposal, polypropylene, 15.9% water, to sanitary landfill			
	includedProcesses	generalComment	
2233	Waste-specific short-term emissions to air via landfill gas incineration and landfill leachate. Burdens from treatment of short-term leachate (0-100a) in wastewater treatment plant (including WWTP sludge disposal in municipal incinerator). Long-term emissions from landfill to groundwater (after base lining failure).	Inventoried waste contains 100% PP; . waste composition (wet, in ppm): upper heating value 36.16 MJ/kg; lower heating value 32.78 MJ/kg; H2O 159000; O 32454; H 103430; C 694120; S 360.46; N 1095.3; P n.a.; B n.a.; Cl 1234.1; Br 8.0972; F 12.146; I n.a.; Ag n.a.; As 1.5385; Ba 202.43; Cd 28.663; Co 1.417; Cr 10.526; Cu 34.93; Hg 0.040486; Mn 25.371; Mo n.a.; Ni 0.80972; Pb 19.079; Sb 8.5021; Se 1.7004; Sn 3.2205; V 1862.4; Zn 288.78; Be 0.40486; Sc n.a.; Sr 71.661; Ti 809.72; Tl 0.32389; W n.a.; Si n.a.; Fe 1295.6; Ca 2186.3; Al 161.94; K n.a.; Mg 80.972; Na 1186.6; Share of carbon in waste that is biogenic 0%. Overall degradability of waste during 100 years: 1%..	0,097





## Anexo B – Parâmetros considerados no caso de estudo 1

### B1 – Parâmetros do cenário 1

Disponibilidade de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável			
Unidade funcional			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Disponibilidade de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável	1	unidade	
Propriedades gerais			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Densidade da água	1	kg/L	Saint-Gobain
Densidade do vidro	2,5	ton/m³	
Produção da embalagem de vidro (11001)			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Garrafa de vidro	0,319	kg vidro /unidade	Marta
Perdas retorno	0,005	garrafas novas/garrafas usadas	Marta
Enchimento e empacotamento de 0,5L de água mineral numa garrafa de vidro (11002)			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Capacidade da garrafa	0,5	L/unidade	Marca
Garrafa de vidro completa	0,822	kg/unidade	Marta
Rótulo de papel	0,00075	kg/unidade	Marta
Cápsula de alumínio	0,00225	kg/unidade	Marta
Vedante plástico para cápsula	0,0015	kg/unidade	Marta
Consumo de soda cáustica para lavagem	0,0033	L/unidade	Marta
Consumo de água para lavagem das garrafas	0,5	L/unidade	Marta
Paleta de madeira (1,2x0,8x0,144)	25	kg/paleta	Embar
Filme envolvente LDPE	0,25	kg/paleta	Marta
Cartão por paleta	2	kg/paleta	Marta
Unidades por paleta (desde o produtor ao embalador)	240	unidades/paleta	Marta
Volume de uma paleta	1,2	m³/paleta	Marta
Factor de perda de paletes	0,01	-	Marta
Grade HDPE (90mmx340mmx400mm)	2	Kg/grade	Marta
Capacidade grade HDPE	12	Unidades/grade	Continente
Grades por paleta	16	Grades/paleta	
Unidades por paleta (serviço distribuição)	192	Unidades/paleta	Inventário à marca H2O
Volume paleta (garrafas acondicionadas em grades)	1,3	m³	
Capacidade produtiva do embalador (garrafas de 0,5L de vidro)	1000	unidades/dia	Marta
Capacidade produtiva do embalador (total)	17008835	m³/ano	

(continuação)

Disponibilidade de 0,5L de água mineral em garrafa de vidro retornável			
Horas de laboração	8	h/dia	Marta
Consumo energético anual (embalador)	2124065	kWh/ano	Marta
Serviço de empilhador			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Consumo de diesel horário	2,3	litros diesel/hora	Arl
Equivalente consumo quilométrico	16,7	km/litro de diesel	Arl
Horas de produção diária	8	horas	Marta
Factor de utilização temporal na embalagem	0,25	-	Marta
Serviço de distribuição			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Capacidade mássica do veículo de transporte	20	ton	Marta
Capacidade volumétrica do veículo	25	m <sup>3</sup>	Marta
Resíduos produzidos para reciclagem (cartão)	2	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos (madeira para incineração)	0,25	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos para incineração (filme+madeira)	0,5	kg/paleta	Marta
Reciclagem de casco não-processado			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Potência eléctrica instalada	120	kW	
Horas de laboração diária	24	h/dia	VidroCiclo
Capacidade de recepção da instalação	120000	ton/ano	VidroCiclo
Capacidade volumétrica do veículo de transporte de resíduos	20	m <sup>3</sup>	Marta
Resíduos de vidro (perdas)	0,0016	kg casco	Marta
Bomba hidráulica			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Aceleração gravidade	9,8	m.s <sup>-2</sup>	Newton
Altura da bomba	50	m	Arl
Caudal de água	50	L/s	Arl
Rendimento da bomba	0,75	-	Quintela
Distâncias percorridas			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Local de fabrico (Avintes) – embalador (Luso)	100	km	
Embalador (Luso) – Centro de logística (Lisboa)	231	km	
Centro de logística (Lisboa) – Local de distribuição (Aveiro)	276	km	
Local de distribuição (Aveiro) – embalador (Luso)	50	km	
Embalador (Luso) – Recicladora (Figueira da Foz)	59	km	
			<a href="http://www.via-michelin.pt">http://www.via-michelin.pt</a>

## B2 – Parâmetros do cenário 2

Disponibilidade de 0,5L de água mineral numa garrafa de PET.			
Unidade funcional			
Disponibilidade de 0,5 L de água mineral numa garrafa de PET.	1	unidade	
Propriedades gerais			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Densidade da água	1	kg/L	Material Recovery Facilities for Municipal Solid Waste, EPA, 1991.
Densidade de resíduos de PET (embalagens)	0,1	ton/m³	
Densidade fardo compactado	0,45	ton/m³	
Produção da embalagem de PET (12001)			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Garrafa de PET de 0,5L (sem rótulo e sem cápsula)	0,0268	kg /unidade	Marta
Material PET necessário para o processo de moldagem por sopro	0,0269	Kg/unidade	Ecoinvent
Enchimento e empacotamento de 0,5L de água mineral numa garrafa de PET (12002)			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Capacidade da garrafa de PET	0,5	L/unidade	Marca
Garrafa de PET de 0,5L cheia	0,529	kg/unidade	Marta
Rótulo de papel	0,00078	kg/unidade	Marta
Cápsula de PP	0,0014	kg/unidade	Marta
Palete de madeira (1,2x0,8x0,144)	25	kg/paleta	Embar
Filme envolvente para pack 2x3	0,05	kg/paleta	Marta
Unidades por pack 2x3	6	Unidades/pack	Marta
Filme envolvente LDPE por paleta	0,25	kg/paleta	Marta
Massa de cartão por paleta	2	kg/paleta	Marta
Unidades por paleta	576	unidades/paleta	Marta
Volume de uma paleta	1,5	m³/paleta	Marta
Factor de perda de paletes	0,01	-	Marta
Capacidade produtiva do embalador (garrafas de capacidade de 0,5L)	1000	unidades/dia	Marta
Capacidade produtiva do embalador anual	17008835	m³/ano	Marta
Horas de laboração	8	h/dia	Marta
Consumo energético anual (embalador)	2124065	kWh/ano	Marta
Serviço de empilhador			
Designação	Dimensão/Volume/Peso	Unidade	Ref.
Consumo de diesel horário	2,3	litros diesel/hora	Arl
Equivalente consumo quilométrico	16,7	km/litro de diesel	Arl
Horas de produção diária	8	horas	Marta
Factor de utilização temporal na embalagem	0,25	-	Marta

(continuação)

Disponibilidade de 0,5L de água mineral numa garrafa de PET.			
Serviço de distribuição			
Designação	Dimensão/Volumen/Peso	Unidade	Ref.
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Capacidade mássica do veículo de transporte	20	ton	Marta
Capacidade volumétrica do veículo de transporte	25	m <sup>3</sup>	Marta
Resíduos produzidos para reciclagem (cartão)	2	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos (madeira para incineração)	0,25	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos para incineração (filme+madeira)	0,5	kg/paleta	Marta
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Reciclagem de PET			
Designação	Dimensão/Volumen/Peso	Unidade	Ref.
Capacidade de recepção da instalação	1500	kg/h	<a href="http://www.portalsaofrancisco.com.br">http://www.portalsaofrancisco.com.br</a>
Potência eléctrica instalada	120	kW	<a href="http://www.portalsaofrancisco.com.br">http://www.portalsaofrancisco.com.br</a>
Consumo água para lavagem	4000	L/h	<a href="http://www.portalsaofrancisco.com.br">http://www.portalsaofrancisco.com.br</a>
Horas de laboração diária	24	h/dia	Marta
Capacidade volumétrica do veículo de transporte	20	m <sup>3</sup>	Marta
Bomba hidráulica			
Designação	Dimensão/Volumen/Peso	Unidade	Ref.
Altura da captação	50	m	Arl
Caudal de água	50	L/s	Arl
Rendimento da bomba	0,75		Quintela
Distâncias percorridas			
Designação	Dimensão/Volumen/Peso	Unidade	Ref.
Local do fornecedor de PET (Sines) – embalador (Luso)	212	km	<a href="http://www.viamichelin.pt">http://www.viamichelin.pt</a>
Embalador (Luso) – Centro de logística (Lisboa)	231	km	
Centro de logística (Lisboa) – Local de distribuição (Aveiro)	276	km	
Local de recolha (Ílhavo) – Estação de Triagem (Aveiro)	8	km	
Estação de Triagem (Aveiro) – Recicladora (Portalegre)	291	km	

**B3 – Parâmetros do cenário 3**

Disponibilidade de 0,5L de água mineral em garrafão de 5L			
Unidade funcional			
Disponibilidade de 5L de água mineral	1	Unidade	
Propriedades gerais			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Densidade da água	1	kg/L	Material Recovery Facilities for Municipal Solid Waste, EPA, 1991
Densidade de PET (embalagens)	0,1	ton/m3	
Densidade de fardos compactados de resíduos	0,45	ton/m3	
Produção da embalagem de PET (13001)			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Garrafão de PET	0,120	Kg/unidade	Marta
Material PET necessário (“blow moulding”)	0,1204	Kg/unidade	Ecoinvent
Capacidade do garrafão	5	L/unidade	Marca
Garrafão cheio (com rótulo e cápsula)	5,132	kg/unidade	Marta
Rótulo de papel	0,0085	kg/unidade	Marta
Cápsula de PP	0,0025	kg/unidade	Marta
Palete de madeira (1,2x0,8x0,144)	25	kg/paleta	Embar
Filme envolvente LDPE por paleta	0,25	kg/paleta	Marta
Massa de cartão por paleta	2	kg/paleta	Marta
Unidades por paleta	144	Unidades/paleta	Marta
Volume de uma paleta	0,96	m <sup>3</sup> /paleta	Marta
Filme envolvente dos packs 2x2	0,025	kg/pack	Marta
Unidades por pack2x2	4	Unidades/pack	Marta
Capacidade produtiva do embalador (garrafões de 5L)	20000	Unidades/dia	Marta
Capacidade produtiva do embalador anual	17008835	m <sup>3</sup> água/ano	Marta
Horas de laboração	8	h/dia	Marta
Consumo energético anual (embalador)	2124065	kWh/ano	Marta
N.º de reutilizações do garrafão	10	-	Marta
Factor de perda de paletes	0,01	-	Marta
Serviço de empilhador			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	
Consumo de diesel horário	2,3	litros diesel/hora	Arl
Equivalente consumo quilométrico	16,7	km/litro de diesel	Arl
Horas de produção diária	8	h/dia	Marta
Factor de utilização temporal na embalagem	0,25	-	Marta

(continuação)

Disponibilidade de 0,5L de água mineral em garrafão de 5L			
Serviço de distribuição			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Resíduos produzidos para reciclagem (cartão)	0,02	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos (madeira para incineração)	0,25	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos para incineração (filme+madeira)	0,5	kg/paleta	Marta
Capacidade mássica do veículo de transporte	20	ton	Marta
Capacidade volumétrica	20	m3	Marta
Transportes até à fonte			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	
N.º de unidades transportadas no veículo	50	unidades/veículo	Marta
Reciclagem de resíduos de embalagem			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	
Potência eléctrica instalada	120	kW	<a href="http://www.portal.saofrancisco.com.br">http://www.portal saofrancisco.com.br</a>
Horas de laboração diária	24	h/dia	Marta
Capacidade de recepção da instalação	1500	kg/h	<a href="http://www.portal.saofrancisco.com.br">http://www.portal saofrancisco.com.br</a>
Taxa de perdas	0,02		Marta
Bomba hidráulica			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	
Altura da bomba	50	m	Arl
Caudal de água	50	L/s	Arl
Rendimento da bomba	0,75		Marta
Distâncias percorridas			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	
Local do fornecedor de PET (Sines) – embalador (Luso)	212	km	<a href="http://www.viamichelin.pt">http://www.viamichelin.pt</a>
Embalador (Luso) – Centro de logística (Lisboa)	231	km	
Centro de logística (Lisboa) – Local de distribuição (Aveiro)	276	km	
Local de recolha (Ílhavo) – Estação de Triagem (Aveiro)	8	km	
Estação de Triagem (Aveiro) – Recicladora (Portalegre)	291	km	

## Anexo C – Parâmetros considerados no caso de estudo 2

### C1 – Parâmetros do cenário 1

Serviço de uso de guardanapos à mesa – guardanapos de papel			
Unidade funcional			
Serviço prestado por 1 guardanapo de papel numa refeição	1	unidade	
Propriedades gerais			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Densidade de resíduos de papel (em contentor)	120	kg/m <sup>3</sup>	Maria da Graça Martinho, Gestão de Resíduos, 1999
Produção de 1 guardanapo de papel tissue (13001)			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
1 guardanapo de papel (33x33cm de folha dupla)	0,0018	kg papel /unidade	Marta
Empacotamento de 1 guardanapo de papel tissue (13002)			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Capacidade de 1 embalagem	100	unidades/embalagem	Marca
Peso de 1 embalagem (100 guardanapos)	0,1908	kg/embalagem	Marta
Plástico envolvente para 1 embalagem	0,0031	kg/embalagem	Marta
Caixa de cartão	0,75	kg/caixa	Marta
Nº de embalagens por caixa de cartão	32	Embalagens/caixa	
Caixas por palete	24	caixas/palete	Marta
Paleta de madeira (1,2x0,8x0,144)	25	kg/paleta	Embar
Filme envolvente LDPE por paleta	0,25	kg/paleta	Marta
N.º de guardanapos por paleta	76800	unidades/paleta	
Volume de uma paleta	1,5	m3/paleta	Marta
Factor de perda de paletes	0,01		Marta
Horas de laboração	8	h/dia	Marta
Capacidade produtiva do embalador	10000	unidades/dia	Marta
Potência eléctrica instalada para empacotamento	20	kW	Marta
Consumo de energia eléctrica na embalagem	0,00029	kWh/embalagem	Marta
Capacidade produtiva do embalador	100000	kg papel/dia	Marta
Produção de embalagens por dia	549450,5	emb./dia	
Capacidade produtiva do embalador	416,67	Paletes/dia	Marta



(continuação)

Serviço de uso de guardanapos à mesa – guardanapos de papel			
Serviço de empilhador			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Consumo de diesel horário	2,3	litros diesel/hora	Arl
Equivalente consumo quilométrico	16,7	km/litro de diesel	Arl
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Factor de utilização temporal na embalagem	0,25		Marta
Serviço de distribuição			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Factor de utilização	0,01	-	Marta
Resíduos produzidos para reciclagem (cartão)	18	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos (madeira para incineração)	0,25	kg/paleta	Marta
Resíduos produzidos para incineração (filme+madeira)	0,5	kg/paleta	Marta
Capacidade volumétrica do veículo de transporte	25	m <sup>3</sup>	Marta
Gestão de RU			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Capacidade volumétrica do veículo de transporte	20	m <sup>3</sup>	Marta
Capacidade mássica do veículo de transporte	8	ton RSU/v	Marta
Fracção de guardanapos nos RU	0,02	ton grd./ton RSU	Marta
Resíduos de papel com humidade(domésticos)	0,007	Kg/unidade	Marta
Distâncias percorridas			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Local de produção (Viana do Castelo) – centro de logística (Porto)	76	km	http://www.viamic helin.pt
Centro de logística (Porto) – Local de distribuição (Aveiro)	78	km	
Local de recolha (Ílhavo) – Incineradora (Mealhada)	47	km	

## C2 – Parâmetros do cenário 2

Serviço de uso de guardanapos à mesa – guardanapos de pano			
Unidade funcional			Ref.
Serviço prestado por 1 guardanapo de papel numa refeição	1	unidade	
Produção de 1 guardanapo de pano (15001)			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
1 guardanapo branco de algodão (45x45cm)	0,064	kg pano /unidade	Marta
Empacotamento de 1 guardanapo de pano (15002)			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Nº de guardanapos/caixa de cartão	80	Unidades/caixa	Marta
Caixa de cartão (100cmx50cmx40cm)	1,2	kg/caixa	Marta
Volume de 1 caixa	0,2	m <sup>3</sup> /caixa	Marta
Horas de laboração	8	h/dia	Marta
Potência eléctrica de uma máquina de costura	500	W	Marta
Potência eléctrica instalada (50 máquinas de costura)	25	kW	Marta
Capacidade produtiva do embalador	20000	unidades/dia	Marta
Capacidade produtiva do fabricante	1289	kg tecidos de algodão/dia	Marta
Serviço de distribuição			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Horas de produção diária	24	horas	Marta
Factor de utilização	0,01	-	Marta
Capacidade mássica do veículo de transporte	20	ton	Marta
Capacidade volumétrica do veículo de transporte	25	m <sup>3</sup>	Marta
Reutilização do guardanapo			
Designação	Dimensão/Vol./Peso	Unidade	Ref.
Consumo de água/ciclo de lavagem	52	L/ciclo	<a href="http://www.topten.pt/">http://www.topten.pt/</a>
Consumo de detergente/ciclo de lavagem	0,080	Kg/ciclo	Marta
Consumo energético (máquina de lavar/ciclo de lavagem)	1,19	kWh/ciclo	<a href="http://www.topten.pt/">http://www.topten.pt/</a>
Tempo de 1 ciclo de lavagem	45	min/ciclo	Marta
Capacidade de carga da máquina de lavar/ciclo de lavagem	7	Kg/ciclo	<a href="http://www.topten.pt/">http://www.topten.pt/</a>
Potência ferro de engomar	1500	W	<a href="http://www.tefal.pt">http://www.tefal.pt</a>
Tempo necessário para engomagem	1	min.	Marta
N.º de reutilizações	50	-	Marta

(continuação)

Serviço de uso de guardanapos à mesa – guardanapos de pano			
Descarte de resíduos domésticos			
<i>Designação</i>	<i>Dimensão/Vol./Peso</i>	<i>Unidade</i>	<i>Ref.</i>
Capacidade de carga do veículo de transporte (incineradora)	8	ton RSU/RU	Marta
Fracção de têxteis nos RSU	0,01	ton têxteis/RSU	Marta
Fracção de guardanapos na fracção de têxteis	0,01	ton grd./ton têxteis	Marta
Distâncias percorridas			
<i>Designação</i>	<i>Dimensão/Vol./Peso</i>	<i>Unidade</i>	<i>Ref.</i>
Local de produção (Guimarães) – centro de logística (Porto)	55	km	<a href="http://www.viamichelin.pt">http://www.viamichelin.pt</a>
Centro de logística (Porto) – Local de distribuição (Aveiro)	78	km	
Local de recolha (Ílhavo) – Incineradora (Mealhada)	47	km	